

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Návrh a implementace segmentačního modelu s prvky umělé
inteligence pro modelování retinálních lézí**

**Proposal and Implementation of Segmentation Model with
Elements of Artificial Intelligence for Retinal Lesions Modeling**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Nela Skulová**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství

Téma: **Návrh a implementace segmentačního modelu s prvky umělé inteligence
pro modelování retinálních lézí**
**Proposal and Implementation of Segmentation Model with Elements
of Artificial Intelligence for Retinal Lesions Modeling**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Nastudování anatomie a patologie retinálního systému.
2. Nastudování základních charakteristik a manifestace retinálních lézí.
3. Nastudování zobrazovacích metod v oftalmologii.
4. Analýza klinických retinálních dat a projevů retinálních lézí.
5. Design a implementace segmentační a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí.
6. Testování navržené procedury pro reálná klinická data.
7. Návrh SW aplikace pro automatické vyhodnocení a modelování retinálních lézí z retinálních obrazů.
8. Vyhodnocení výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada Publishing, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [2] MCANDREW, Alasdair. *Introduction to digital image processing with MATLAB*. Boston: Thomson Course Technology, c2004. ISBN 0-534-40011-6.
- [3] NILSSON, Nils J. *Principles of artificial intelligence*. Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers, 1980. ISBN 0-934613-10-9.
- [4] NILSSON, Nils J. *Artificial intelligence: a new synthesis*. San Francisco: Morgan Kaufmann, c1998. ISBN 1-55860-467-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Kubíček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne: 6. května 2020



Nela Skulová

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Janu Kubíčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Retinopatie nedonošených dětí vzniká většinou u předčasně narozených dětí s nízkou porodní hmotností, projevuje se patologickým vývojem cévního systému sítnice, vznikají krvácivé skvrny (tzv. retinální léze). V České republice se ročně narodí cca 8 000 nedonošených dětí, z toho cca 1 650 dětí s porodní hmotností pod 1 000 g. Hlavním cílem screeningu RoP je včasné zjištění a sledování příznaků tohoto onemocnění. Praktická část diplomové práce je proto věnována automatickému algoritmu s prvky umělé inteligence pro rozpoznání a identifikaci retinálních lézí. Je využita semi supervizorní klasifikace umožňující on-line učení a automatickou identifikaci retinálních lézí bez vstupu uživatele. Pro inicializaci semi supervizorního učení je využita segmentace obrazu na základě adaptivní binarizace a blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků. To znamená, že segmentace je provedena plně automaticky (bez lidské asistence), což může v budoucnosti ušetřit mnoho času. Jednotlivé extrahované diferencované retinální léze jsou analyzovány vůči optickému disku. Tato procedura umožňuje objektivní kvantifikaci retinálních lézí s cílem jejich dynamiky a progresu v průběhu času.

Klíčová slova

Retinopatie nedonošených, retinální léze, retina, RetCam3, zpracování obrazu, segmentace, umělá inteligence, semi supervizorní učení

Abstract

Retinopathy of premature primarily affects premature infants with low birth weight, manifested by pathological development of the retinal vascular system and bleeding spots, called retinal lesions. Approximately 8,000 premature babies are born in the Czech Republic annually, of which about 1,650 are born with weight below 1,000 g. The main purpose of the RoP screening is the early detection of the first signs of this disease. The practical part of the thesis is therefore devoted to an automatic algorithm with artificial intelligence elements for detection and classification of retinal lesions. Semi-supervised classification is used to enable online learning and automatic detection of retinal lesions without user input. For the initialization of semi-supervised learning the image segmentation is used based on adaptive binarization and blob detection using the SURF feature extraction. It means, we talk about automatic segmentation without any human intervention, which can save a lot of time in the future. Individual differentiated retinal lesions are analyzed against the optical disc.

Key words

Retinopathy of prematurity, retinal lesion, retina, RetCam3, image processing, segmentation, artificial intelligence, semi supervising learning

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	- 10 -
Seznam ilustrací	- 11 -
Seznam tabulek	- 16 -
Úvod.....	- 17 -
1 Lidské oko.....	- 18 -
1.1 Anatomie.....	- 18 -
1.1.1 Oční víčko	- 18 -
1.1.2 Slzná žláza.....	- 19 -
1.1.3 Slzné cesty.....	- 19 -
1.1.4 Obočí	- 20 -
1.1.5 Okohybné svaly.....	- 20 -
1.1.6 Oční koule	- 21 -
1.1.7 Spojivka.....	- 22 -
1.1.8 Rohovka.....	- 22 -
1.1.9 Bělima	- 22 -
1.1.10 Živnatka.....	- 23 -
1.1.11 Duhovka	- 23 -
1.1.12 Řasnaté tělísko.....	- 23 -
1.1.13 Cévnatka.....	- 23 -
1.1.14 Čočka.....	- 23 -
1.1.15 Sklivec.....	- 23 -
1.1.16 Sítňice.....	- 23 -
2 Retinální systém.....	- 24 -
2.1 Vývoj sítnice a zrakového nervu.....	- 24 -
2.2 Anatomie a fyziologie sítnice.....	- 25 -
2.3 Patologie retinálního systému	- 28 -
2.3.1 Vrozené vady sítnice	- 28 -
2.3.2 Záněty sítnice	- 28 -
2.3.3 Degenerace sítnice.....	- 28 -
2.3.4 Odchlípení sítnice.....	- 29 -
2.3.5 Nádory sítnice.....	- 29 -

2.3.6	Oběhové poruchy sítnice	- 29 -
3	Retinopatie	- 32 -
3.1	Angiopatie a retinopatie u celkových onemocnění	- 32 -
3.2	Skleróza sítnicových cév	- 32 -
3.3	Hypertonníká angiopatie a retinopatie.....	- 32 -
3.4	Těhotenská retinopatie	- 33 -
3.5	Diabetická retinopatie	- 33 -
3.5.1	Oftalmologický obraz diabetické retinopatie	- 34 -
3.5.2	Klasifikace diabetické retinopatie	- 35 -
3.5.3	Léčba diabetické retinopatie.....	- 36 -
4	Retinopatie nedonošených.....	- 37 -
4.1	Klinický obraz.....	- 37 -
4.2	Aktivní akutní forma ROP	- 37 -
4.3	Průběh ROP.....	- 40 -
4.4	Následky proběhlé ROP	- 40 -
4.5	Léčba ROP	- 40 -
5	Charakteristika a manifestace retinálních lézí.....	- 41 -
6	Zobrazovací metody v oftalmologii	- 42 -
6.1	Oftalmoskopie	- 42 -
6.1.1	Přímá oftalmoskopie.....	- 42 -
6.1.2	Nepřímá oftalmoskopie	- 42 -
6.2	Ultrasonografie.....	- 42 -
6.3	Perimetrie	- 43 -
6.4	Heidelbergský retinální tomograf (HRT)	- 43 -
6.5	Skenovací laserová polarimetrie (GDX)	- 43 -
6.6	Optická koherentní tomografie (OCT).....	- 44 -
6.7	Analýza tloušťky sítnice (RTA)	- 44 -
6.8	Elektroretinograf (ERG).....	- 44 -
6.9	Funduskamera	- 44 -
6.10	RetCam.....	- 45 -
6.10.1	Technické parametry	- 47 -
7	Analýza klinických retinálních dat.....	- 48 -

8	Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí	- 53 -
8.1	Předzpracování obrazu	- 55 -
8.2	Adaptivní binarizace a morfologické operace.....	- 55 -
8.3	Blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků.....	- 58 -
8.4	Semi supervizorní klasifikace k detekci nejednoznačných oblastí s retinálními lézemi - 61 -	
9	Implementace segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí	- 65 -
9.1	Uživatelské rozhraní.....	- 65 -
9.2	Předzpracování obrazu	- 67 -
9.3	Mediánová filtrace.....	- 69 -
9.4	Blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků.....	- 70 -
9.5	Adaptivní binarizace	- 71 -
9.6	Morfologické operace	- 72 -
9.7	Semi supervizorní klasifikace retinálních lézí s on-line učením bez vstupu uživatele - 75 -	
9.8	Finální maska	- 76 -
10	Testování efektivnosti navržené procedury pro reálná klinická data	- 78 -
11	Testování robustnosti navržené procedury pro klinická reálná data	- 81 -
11.1	Způsob testování robustnosti navrženého algoritmu	- 81 -
11.1.1	SSIM.....	- 81 -
11.1.2	MSE.....	- 82 -
11.1.3	Korelační koeficient	- 82 -
11.2	Gaussovský šum.....	- 83 -
11.3	Speckle šum.....	- 88 -
11.4	Salt and Pepper šum	- 93 -
11.5	Kvantitativní analýza robustnosti navržené procedury	- 98 -
12	Vyhodnocení velikosti retinálních lézí vůči velikosti optického disku	- 101 -
	Závěr	- 110 -
	Použitá literatura	- 112 -
	Seznam příloh.....	- 115 -

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol/ zkratka	Název
BNO	Binokulární oftalmoskopie
CCD	Charge-coupled device
CMOS	Complementary Metal–Oxide Semiconductor
DoG	Rozdíl Gaussiánů
DR	Diabetická retinopatie
ERG	Elektroretinograf
FA	Fluorescenční angiografie
FD	Frekvenční doména
GDX	Skenovací laserová polarimetrie
HRT	Heidelberský retinální tomograf
LOG	Laplacián Gassiánu
MSE	Střední kvadratická chyba
NPDR	Neproliferativní diabetická retinopatie
OCT	Optická koherentní tomografie
ROP	Retinopatie nedonošených dětí
RTA	Analýza tloušťky sítnice
SSIM	Index strukturální podobnosti
SURF	Speeded up robust features
VEGF	Vaskulární endotelový růstový faktor
μ	Střední hodnota
σ	Směrodatná odchylka

Seznam ilustrací

<i>Obrázek 1: Anatomie očního víčka. [4]</i>	- 19 -
<i>Obrázek 2: Slzné cesty. [4]</i>	- 20 -
<i>Obrázek 3: Okohybné svaly. [4]</i>	- 20 -
<i>Obrázek 4: Orbita-přední pohled: 1-kost čelní, 2-optický kanál, 3-kost čichová, 4-kost slzní, 5-slzná jamka, 6-horní čelist, 7-očnicová část horní čelisti, 8-otvor v horní čelisti, 9-sulcus infraorbitalis, 10-kost jařmová, 11-dolní očníková štěrbina, 12-orbitální část kosti jařmové, 13-kost klínová, 14-horní očníková štěrbina, 15 očníková část kosti čelní. [2]</i>	- 21 -
<i>Obrázek 5: Anatomie oka. [2]</i>	- 22 -
<i>Obrázek 6: Schéma očního pohárku. [3]</i>	- 24 -
<i>Obrázek 7: Anatomická a klinická terminologie sítnice. [4]</i>	- 25 -
<i>Obrázek 8: Vrstvy sítnice. [4]</i>	- 26 -
<i>Obrázek 9: Schématický průřez makulou. [4]:</i>	- 27 -
<i>Obrázek 10 Vrozený kolobom sítnice a cévnatky. [2]</i>	- 28 -
<i>Obrázek 11: Pigmentová degenerace sítnice s pigmentovým ložiskem ve tvaru kostních buněk [4] (vlevo). Věkem podmíněná degenerace makuly – suchá forma. [4] (uprostřed). Vlhká forma věkem podmíněné degenerace. [4] (vpravo).</i>	- 29 -
<i>Obrázek 12: Ischemická kmenová okluze sítnicové vény. [2]</i>	- 30 -
<i>Obrázek 13: Oftalmoskopický obraz kmenové okluze centrální sítnicové arterie s ischemickým edémem centra sítnice a prosvítající třešňovou makulou. [2]</i>	- 31 -
<i>Obrázek 14: Útlak a zúžení venul v místech křížení s rigidními sklerotickými arterioly. [2]</i>	- 32 -
<i>Obrázek 15: Hypertonická retinopatie s radiálně uspořádanými tvrdými exsudáty v makulární krajině při chronickém makulárním edému. [2] (vpravo) Hypertonické sítnicové cévní změny I. a II. stupně u mladého hypertonika. [2] (uprostřed) Hypertonická neuroretinopatie s chronickým edémem terče zrakového nervu, a hlavně nazální částí centrální krajiny. [2] (vlevo).....</i>	- 33 -
<i>Obrázek 16: Schéma vzniku mikroaneuryzmat u diabetické mikroangiopatie. [2]</i>	- 34 -
<i>Obrázek 17: Nákres cév diabetika s mikroaneuryzmaty (vlevo) a zobrazení mikroaneuryzmat při fluorescenční angiografii. [2]</i>	- 34 -
<i>Obrázek 18: Středně pokročilá forma neproliferativní DR s četnými mikroaneuryzmaty v centrální krajině i kolem centra sítnice na angiogramu. [2] (vlevo) Proliferativní DR s proliferacemi na terči zrakového nervu v okolí podél hlavních cévních arkád a rozsáhlými kapilárními uzávěry v periferii dobře patrnými při fluorescenční angiografii. [2] (vpravo)</i>	- 35 -
<i>Obrázek 19: Fotografie fundu po sektorovém laserovém ošetření nazálně od terče zrakového nervu pro pokročilou formu neproliferativní diabetické retinopatie. [2]</i>	- 36 -
<i>Obrázek 20: Pět stadií ROP. [10]</i>	- 38 -
<i>Obrázek 21: A) I. stadium, B) II. stadium (prahové) s hřebenovitým vyvýšením demarkační linie, vaskularizacemi, počínající extraretinální fibroproliferací, D) dilatované a vinuté cévy při tzv. plus onemocnění ROP. [6]</i>	- 39 -
<i>Obrázek 22: Lokalizace patologických změn do jedné ze tří zón.</i>	- 39 -
<i>Obrázek 23: Na první fotografii je zobrazen fyziologický snímek sítnice bez patologických změn. Na dalších dvou snímcích jsou již patrné rozsáhlé retinální léze, jedná se o nespecifické útvary červené barvy.</i>	- 41 -
<i>Obrázek 24: Snímek sítnice v modrých ROI jsou vyznačeny retinální léze.</i>	- 41 -

Obrázek 25: Stará retinální léze.	- 41 -
Obrázek 26: Hlavice přímého oftalmoskopu. [8].....	- 42 -
Obrázek 27: Binokulární indirektní nepřímý oftalmoskop. [8]	- 42 -
Obrázek 28: 3D snímek retiny z HRT. [8] (vlevo) HRT. [8] (vpravo)	- 43 -
Obrázek 29: GDX. [8].....	- 43 -
Obrázek 30: Snímek z OCZ. [8] (vlevo) OCT. [8] (vpravo)	- 44 -
Obrázek 31: Fundus kamera. [8] (vlevo) Snímek z funduskamery. Na obrázku je retina pacienta s diabetickou retinopatií. [8] (vpravo).....	- 45 -
Obrázek 32: Modré šipky ukazují oblasti, kde FA poskytuje vizualizaci cév pacienta ROP, které nejsou na barevné fotografii patrné. [9]	- 46 -
Obrázek 33: Zobrazení ROP pomocí RetCam. [9]	- 46 -
Obrázek 34: RetCam. 1) velká pracovní plocha, 2) klávesnice, 3) držák šňůry, 4) úložné zásuvky, 5) display, 6) ergonomicky ruční díl, 7) modul fluorescenční angiografie, 8) foto a tiskárna, 9) nožní ovládání. [9].....	- 46 -
Obrázek 35: Grafické znázornění zastoupení subjektů dle pohlaví.	- 48 -
Obrázek 36: Grafické znázornění zastoupení subjektů dle gestačního věku.	- 48 -
Obrázek 37: Histogram porodní váhy subjektů.	- 49 -
Obrázek 38: Fyziologický obrázek sítnice z RetCamu.	- 49 -
Obrázek 39: Grafické znázornění zastoupení jednotlivých diagnóz.	- 50 -
Obrázek 40: Hypoplazie makuly.	- 50 -
Obrázek 41: Hamartomy.	- 51 -
Obrázek 42: Hemoragie.	- 51 -
Obrázek 43: ROP	- 51 -
Obrázek 44: Oční toxoplazmóza.	- 52 -
Obrázek 45: Vývojový diagram algoritmu pro segmentaci retinálních lézí.....	- 54 -
Obrázek 46: Vývojová diagram předzpracování obrazu.	- 55 -
Obrázek 47: Jednotlivé chrominanční složky.....	- 55 -
Obrázek 48: Princip mediánové filtrace. [14]	- 56 -
Obrázek 49: Eroze snímku A strukturním elementem S. Vpravo výsledný snímek po aplikaci morfologické operace eroze. [15]	- 57 -
Obrázek 50: Vývojový diagram blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků.	- 58 -
Obrázek 51: Výpočet plochy vymezené vrcholy A, B, C, D v integrálním obraze. [16].....	- 58 -
Obrázek 52: Rozdíl Gaussiánů. [18].....	- 60 -
Obrázek 53: Neškálovány původní obraz pomocí Gaussovského vyhlazení o různém σ . A následný rozdíl těchto Gaussiánů. [19].....	- 60 -
Obrázek 54: Vývojový diagram semi supervizorní klasifikace.....	- 61 -
Obrázek 55: Strojové učení s učitelem. [22]	- 61 -
Obrázek 56: Strojové učení bez učitele. [22]	- 62 -
Obrázek 57: Excentricita elipsy.	- 63 -
Obrázek 58: Volba snímku/složky.	- 65 -
Obrázek 59: Výběr snímku	- 65 -
Obrázek 60: Výstup navrženého algoritmu.	- 66 -
Obrázek 61 Originální snímky z RetCamu.	- 67 -
Obrázek 64: Zelená chrominanční složka převedena do snímku v šedo tónové škále.	- 68 -

Obrázek 65: Snímky po aplikaci mediánového filtru.	- 69 -
Obrázek 66: Označení příznaků ve snímcích v šedo tónové škále.	- 70 -
Obrázek 67: Snímky po adaptivní binarizaci.	- 71 -
Obrázek 68: Vysegmentované retinální léze pomocí adaptivní binarizace a morfologických operací....	- 72 -
Obrázek 69: Maska segmentovaných retinálních lézí pomocí binarizace a morfologických operací ($I_{InitMask}$).....	- 73 -
Obrázek 70: Maska, která obsahuje oblasti detekované pomocí blob detekce a binarizace zároveň ($I_{ConfLesion}$).	- 74 -
Obrázek 71: Maska detekovaných retinálních lézí pomocí k-means shlukové analýzy.	- 75 -
Obrázek 72: Finální maska.....	- 76 -
Obrázek 73: Výsledná maska segmentovaných retinálních lézí.....	- 77 -
Obrázek 74: Originální snímek (vpravo) vysegmentované retinální léze pomocí masky vytvořené navrženým algoritmem. (vlevo).	- 77 -
Obrázek 75: Retinální léze segmentované ručně vyznačeny modrým obdélníkem. Maska retinálních lézí segmentovaná pomocí algoritmu (vpravo).	- 78 -
Obrázek 76: Retinální léze segmentované ručně vyznačeny modrým obdélníkem. Výsledná maska retinálních lézí segmentována pomocí navrženého algoritmu (vpravo). Falešně pozitivní retinální léze vyznačeny červeným obdélníkem v obou snímcích.....	- 79 -
Obrázek 77: Retinální léze vysegmentované ručně vyznačeny modrým obdélníkem. Výsledná maska retinálních lézí segmentována pomocí navrženého algoritmu (vpravo). Falešně pozitivní retinální léze vyznačena červeným obdélníkem. A Falešně negativní retinální léze vyznačena zeleně.	- 79 -
Obrázek 78: Vývojový diagram pro testování robustnosti navrženého algoritmu.....	- 81 -
Obrázek 79: Snímky s aplikovaným Gaussovským šumem, zleva originální snímek a dále snímky s aplikovaným Gaussovským šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.....	- 84 -
Obrázek 80: Výsledné masky retinálních lézí po aplikaci navrženého segmentačního algoritmu na snímky s aplikovaným Gaussovským šumem, zleva maska retinálních lézí z originálního snímku a dále masky retinálních lézí ze snímků s aplikovaným Gaussovským šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.....	- 84 -
Obrázek 81: Grafické znázornění výsledných hodnot korelačního koeficientu pro 5 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.	- 85 -
Obrázek 82: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.	- 85 -
Obrázek 83: Grafické znázornění výsledných hodnot indexu strukturální podobnosti pro 5 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.	- 86 -
Obrázek 84: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.....	- 86 -
Obrázek 85: Grafické znázornění výsledných hodnot střední kvadratické chyby pro 5 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.	- 87 -
Obrázek 86: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.....	- 87 -

Obrázek 87: Snímky s aplikovaným Speckle šumem, zleva originální snímek a dále snímky s aplikovaným Speckle šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.	- 89 -
Obrázek 88: Výsledné masky retinálních lézí po aplikaci navrženého segmentačního algoritmu na snímky s aplikovaným Speckle šumem, zleva maska retinálních lézí z originálního snímku a dále masky retinálních lézí ze snímků s aplikovaným Speckle šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.	- 89 -
Obrázek 89: Grafické znázornění výsledných hodnot korelačního koeficientu pro 5 snímků s aplikovaným Speckle šumem.....	- 90 -
Obrázek 90: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným Speckle šumem.....	- 90 -
Obrázek 91: Grafické znázornění výsledných hodnot indexu strukturální podobnosti pro 5 snímků s aplikovaným Speckle šumem.....	- 91 -
Obrázek 92: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným Speckle šumem.	- 91 -
Obrázek 93: Grafické znázornění výsledných hodnot střední kvadratické chyby pro 5 snímků s aplikovaným Speckle šumem.....	- 92 -
Obrázek 94: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným Speckle šumem.	- 92 -
Obrázek 95: Snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem, zleva originální snímek a dále snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem s hustotou šumu $d=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.	- 94 -
Obrázek 96: Výsledné masky retinálních lézí po aplikaci navrženého segmentačního algoritmu na snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem, zleva maska retinálních lézí z originálního snímku a dále masky retinálních lézí ze snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem s hustotou šumu $d=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.	- 94 -
Obrázek 97: Grafické znázornění výsledných hodnot korelačního koeficientu pro 5 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.	- 95 -
Obrázek 98: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.	- 95 -
Obrázek 99: Grafické znázornění výsledných hodnot indexu strukturální podobnosti pro 5 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.	- 96 -
Obrázek 100: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.....	- 96 -
Obrázek 101: Grafické znázornění výsledných hodnot střední kvadratické chyby pro 5 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.	- 97 -
Obrázek 102: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.....	- 97 -
Obrázek 103: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným šumem.	- 98 -
Obrázek 104: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným šumem	- 99 -
Obrázek 105: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným šumem	- 100 -

<i>Obrázek 106: Původní snímek, snímek s kombinací červené a zelené chrominanční složky, monochromatický snímek v šedo tónové škále.</i>	- 101 -
<i>Obrázek 107: Ekvalizace histogramu (vlevo), bodová jasova transformace (uprostřed), mediánová filtrace (vpravo).</i>	- 101 -
<i>Obrázek 108: Vývojový diagram předzpracování snímku pro segmentaci optického disku.</i>	- 101 -
<i>Obrázek 109: Původní snímek (vlevo), segmentace optického disku pomocí aktivní kontury (uprostřed), binarání maska optického disku (vpravo).</i>	- 102 -
<i>Obrázek 110: Vývojový diagram segmentace optického disku.</i>	- 102 -
<i>Obrázek 111: Oroginální snímek (vlevo), binární snímek segmentace retinálních lézí (uprostřed), označení jednotlivých retinálních lézí (vpravo).</i>	- 103 -
<i>Obrázek 112: Rozdělení jednotlivých retinálních lézí do samostatných snímků.</i>	- 103 -
<i>Obrázek 113: Zelené pixely prezentují pixely použité pro výpočet obvodu. [23]</i>	- 104 -
<i>Obrázek 114: Červená přímka znázorňuje délku hlavní osy (MajorAxisLength), černá přímka znázorňuje délku vedlejší osy (MinorAxisLength), zelená křivka znázorňuje obvod oblasti (Perimeter) a žlutá oblast je obsah (Area) retinální léze.</i>	- 104 -
<i>Obrázek 115: Vývojový diagram porovnání velikosti retinálních lézí vůči optickému disku.</i>	- 105 -
<i>Obrázek 116: Matice dvaceti testovaných snímků.</i>	- 105 -

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Základní charakteristiky a klasifikace diabetické retinopatie. [1] [2] [3] [4] [5]</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Tabulka 2 Technické parametry RetCam. [9]</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Tabulka 3 Počet snímků.</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Tabulka 4 Ukázka tabulky pro vyhodnocení přesnosti navrženého algoritmu.....</i>	<i>- 78 -</i>
<i>Tabulka 5 Popisná statistika pro testování přesnosti navrženého algoritmu.....</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Tabulka 6 Výsledné hodnoty pro jednotlivé retinální léze a optické disky.....</i>	<i>- 106 -</i>

Úvod

Retinopatie nedonošených dětí se projevuje u předčasně narozených dětí s nízkou porodní váhou. Předčasně narozené děti s nízkou porodní váhou jsou většinou umístěny do inkubátoru, kde jim je prováděna oxygenoterapie. Při nadměrné oxygenoterapii si sítnice zvykne na vysoký parciální tlak a nadměrnou koncentraci kyslíku, nastává hyperoxie, při které dochází ke snížené produkci vaskulárního endotelového růstového faktoru, a v důsledku těchto změn dochází k patologickému vývoji cévního systému sítnice. Vznikají retinální léze – krvácivé skvrny nepravidelných tvarů a velikostí. Retinální léze způsobují zhoršení zraku novorozenců, v krajních případech může dojít i k odchlípení sítnice. Proto je nutné sítnici u předčasně narozených dětí vyšetřit a sledovat případné změny až do úplného vyvinutí cévního systému sítnice. Vyšetření sítnice se ve většině případů provádí pomocí přístroje RetCam.

V dnešní době jsou jednotlivé snímky sítnice vyhodnoceny lékařem, jsou tudíž zatíženy subjektivní chybou. Proto je cílem této diplomové práce návrh a implementace automatického segmentačního modelu s prvky umělé inteligence pro modelování již výše zmíněných retinálních lézí. To znamená, že by výsledky již nebyly zatíženy subjektivní chybou, a segmentace retinálních lézí by tak probíhala zcela automaticky bez lidského faktoru. Pro vývoj a testování navrženého algoritmu byla použita databáze snímku z RetCam3 z Oční kliniky Fakultní nemocnice v Ostravě.

Dříve se k vyšetření sítnice používala binokulární oftalmoskopie, v dnešní době je pro vyšetření sítnice využíván přístroj RetCam, kvůli většímu úhlu zobrazení sítnice. Přístroj Retcam umožňuje zobrazení až 130°.

RetCam zobrazuje pouze základní vizualizační funkce pro zpracování obrazu sítnice. Nejnovější trendy v klinické oftalmologii se zabývají automatickými metodami pro extrakci patologických příznaků. Automatické metody přinášejí přesnější výsledky oproti subjektivnímu vyhodnocení. V praktické části je snaha tyto nejnovější trendy v oftalmologii následovat, rozvíjet a zaměřit se na využití umělé inteligence pro rozpoznání a identifikaci patologických příznaků.

Navržený algoritmus s prvky umělé inteligence pro segmentaci retinálních lézí zahrnuje řadu dílčích kroků. Prvním z nich je předzpracování originálních snímků z RetCamu, následuje adaptivní binarizace. Na výsledný binární snímek je aplikována detekce blob s použitím extrakce SURF příznaků, výsledná maska vysegmentovaná pomocí výše zmíněných algoritmů je použita k inicializaci semi supervizorního učení. Hlavním prvkem je semi supervizorní klasifikace umožňující on-line učení a automatickou identifikaci retinálních lézí bez vstupu uživatele. Pomocí těchto dílčích kroků je vytvořena maska retinálních lézí, která vyznačí retinální léze v původním snímku.

Nedílnou součástí implementace navrženého algoritmu do praxe je i jeho testování. K tomu jsou použity snímky z databáze Oční kliniky Fakultní nemocnice v Ostravě. Je provedeno rozsáhlé testování efektivnosti a robustnosti navržené procedury.

Identifikace a rozeznání retinálních lézí vyžaduje jejich diferencování, následné změření jejich geometrických vlastností a porovnání velikosti jednotlivých diferencovaných retinálních lézí vůči optickému disku.

1 Lidské oko

Většinu informací o prostředí kolem nás získáváme pomocí nejdůležitějšího smyslu, zraku. Dochází k převodu světelné energie na akční potenciál nervové soustavy. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1 Anatomie

Zrakový orgán obsahuje dva funkčně odlišné celky.

První celek nazývaný přídavné orgány (adnexa) zajišťuje funkci a ochranu oka. Zahrnuje: [1] [2] [3] [4] [5]

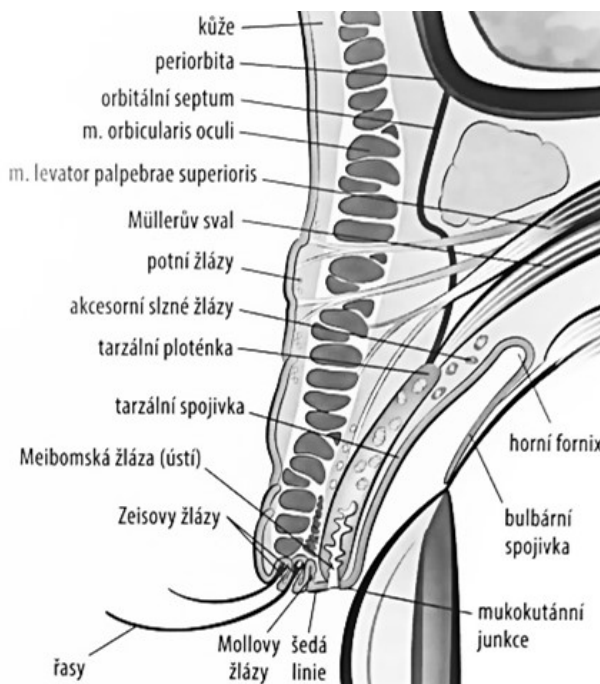
- oční víčka,
- slzné cesty,
- slznou žlázu,
- obočí,
- okohybné svaly.

Druhý celek oční koule (bulbus oculi) z jehož zadní části vystupuje zrakový nerv, který převádí obrazovou informaci do zrakové dráhy a následně do zrakového centra. Zahrnuje: [1] [2] [3] [4] [5]

- spojivku,
- rohovku,
- bělimu,
- živnatku,
- duhovku,
- řasnaté tělísko,
- cévnatku,
- čočku,
- sklivec,
- sítnici.

1.1.1 Oční víčko

Oční víčko (Obrázek 1) slouží jako ochrana před vnějším prostředím, poraněním a při mrkání zvlhčuje oko slzami. Oční víčko se skládá ze dvou kožních řas – horní a dolní víčko. Zevní strana víčka je pokryta jemnou kůží a podkožím. Víčková spojivka (jemná průsvitná blanka) tvoří vnitřní stranu víčka a slouží jako mechanická a imunitní ochrana bulbu. Víčko je vyztuženo tarzální ploténkou z hustého kolagenního vaziva nazývanou tarzus, obsahující Meibomskou mazovou žlázu, která produkuje tukový sekret slzného filmu. K torzální ploténce se upíná Mullerův hladký sval, k torzální ploténce horního víčka se upíná zvedací sval m. levator palpebrae. V horní části víčka se nachází m. orbicularis oculi, svěrač víček je využit při mrkání, kdy periodicky uzavírá oční štěrbinu, a tím chrání rohovku. Pod margem (místo setkání zevního a vnitřního víčka) jsou uloženy řasy, u kterých se nachází Zeisovy mazové a Molloyovy potní žlázy. [1] [2] [3] [4] [5]



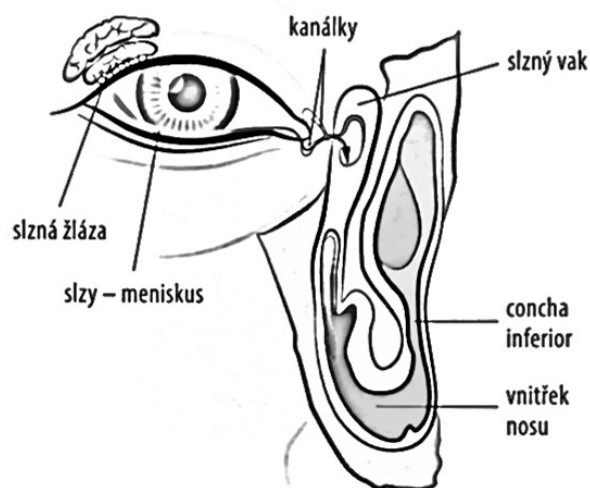
Obrázek 1: Anatomie očního víčka. [4]

1.1.2 Slzná žláza

Jedná se o růžový útvar, který můžeme vidět při odtažení horního víčka, viditelná je pouze palpebrální část a společně s orbitální jsou uloženy v zevním horním kvadrantu očníce. Patří mezi exokrinní žlázy (žlázy s vnější sekrecí), je zodpovědná za reflexní tvorbu slz, které vytékají z horního fornixu a stékají po bulbu do vklesliny ve vnitřním očním koutku, a díky tomu dochází k omývání a odstranění prachových částic z rohovky a spojivky. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.3 Slzné cesty

Jsou tvořeny sekreční (slzná žláza) a odvodnou částí. Část slz se ihned vypaří a zbytek putuje do odvodné části, ke které patří slzné body, což jsou malinké otvůrky na zadní hraně horního i dolního víčka. Dále také slzné kanálky (Obrázek 2) podél okraje víčka, které pokračují do slzného vaku, ze kterého odtékají pomocí slzovodu do dutiny nosní pod dolní skořepu nosní. Otevřením očí vzniká podtlak, který tlačí slzy do odvodných kanálů. [1] [2] [3] [4] [5]



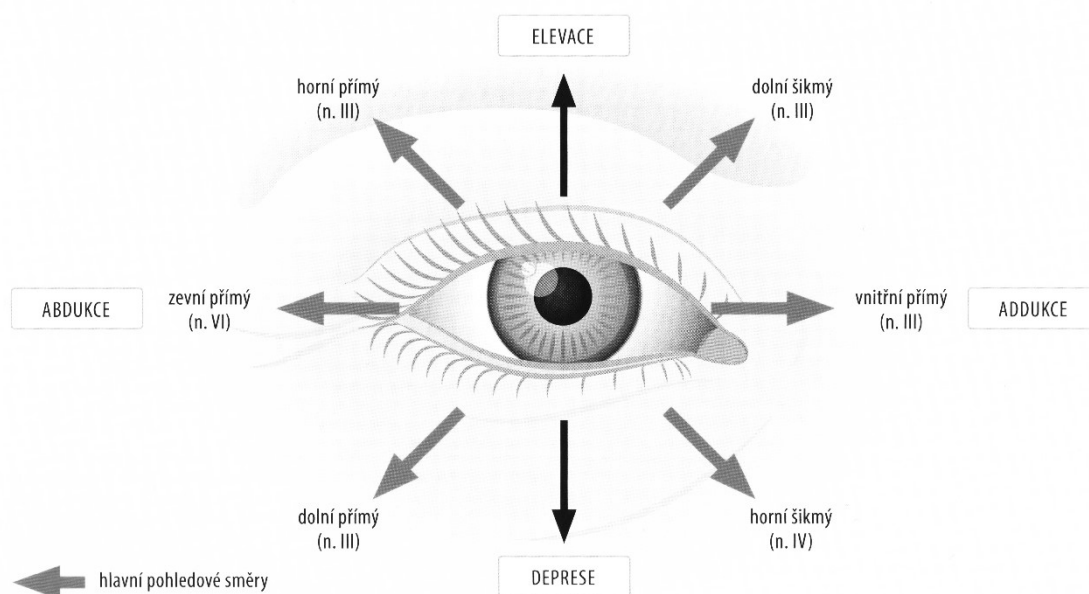
Obrázek 2: Slzné cesty. [4]

1.1.4 Obočí

Jedná se o mechanickou ochranu oka například proti stékajícímu potu. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.5 Okohybné svaly

Pomocí kterých dochází k pohybům bulbu (Obrázek 3). Patří mezi ně čtyři přímé svaly (horní, dolní, vnitřní a zevní) a dva šikmé svaly (horní a dolní). [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 3: Okohybné svaly. [4]

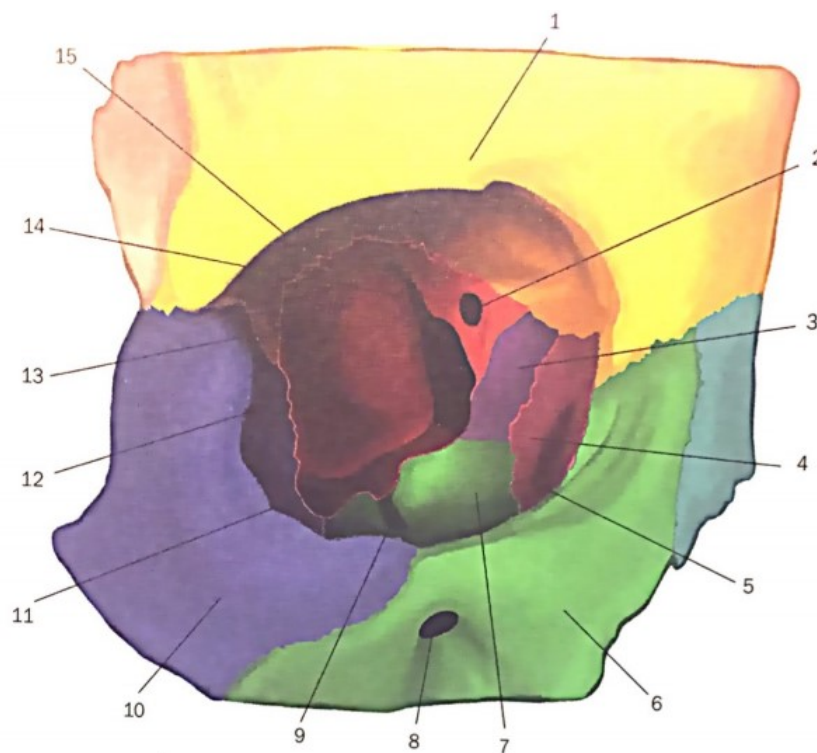
1.1.6 Oční koule

Oční koule umístěná v očníci, v párové dutině v obličejové části lebky. Očnice je tvořena sedmi kostmi (Obrázek 4):

- kost čelní
- kost jařmová
- horní čelist
- kost slzní
- kost čichová
- kost klínová
- kost patrová

Očnice tvaru čtyřboké pyramidy je vystlaná tukovým polštářem a pokryta jemným periostem.

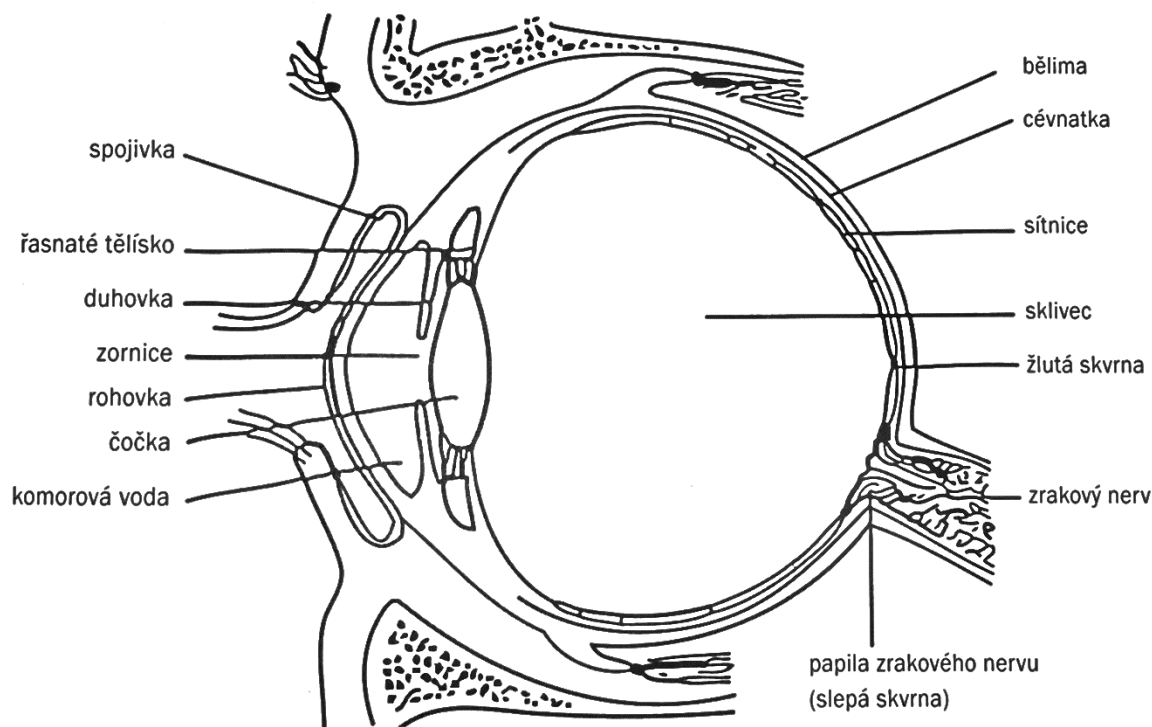
[1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 4: Orbita-přední pohled: 1-kost čelní, 2-optický kanál, 3-kost čichová, 4-kost slzní, 5-slzná jamka, 6-horní čelist, 7-očnicová část horní čelisti, 8-otvor v horní čelisti, 9-sulcus infraorbitalis, 10-kost jařmová, 11-dolní očníková štěrbina, 12-orbitální část kosti jařmové, 13-kost klínová, 14-horní očníková štěrbina, 15 očníková část kosti čelní. [2]

Oční kouli tvoří tři vrstvy tkáně (Obrázek 5):

1. Povrchová (vazivová) vrstva (tunica fibrosa), která se diferencuje z větší zadní části v bělimu a z přední menší části v rohovku.
2. Střední vrstva žílnatka (uvea), do které patří duhovka, řasnaté těleso a cévnatka.
3. Vnitřní vrstva (tunica nervosa) nervová tkáň, nazývaná sítnice. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 5: Anatomie oka. [2]

1.1.7 Spojivka

Jedná se o jemnou membránu, která se nachází na vnitřní straně víček. V přední části bulbu se diferencuje ve spojivkový vak a na limbu se z ní postupně stává součást rohovkového epitelu. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.8 Rohovka

Rohovka (cornea) je hladká, transparentní, průhledná, bezcévná, hustě inervovaná vazivová blanka, která je vyklenutá dopředu. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.9 Bělima

Bělima (skléra) není průhledná jako rohovka v důsledku rozdílného rozložení kolagenních vláken, které není tak pravidelné jako u rohovky. Tvoří zadní část bulbu, na kterou se upínají okohybné svaly, a přechází do pochev zrakového nervu. Zevní část je kryta v přední části již zmíněnou spojivkou. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.10 Živnatka

Živnatka (uvea) je vrstva obsahující mnoho cév a melanocytů, které slouží k výživě bulbu. Obsahuje duhovku, řasnaté tělísko a cévnatku. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.11 Duhovka

Duhovka (iris) je složena ze dvou částí pupilární, která ohraničuje zornici, viditelnou část uvey, a ciliární, která pokračuje v řasnaté těleso. Průsvit zornice je ovlivněn dvěma svaly, první z nich se nazývá svěrač zornice, který při reakci se světlem způsobuje miózu, druhý rozvěrač, který způsobuje mydriázu. Množství pigmentu v pigmentových buňkách udává barvu duhovky, která je pro každého jedince jedinečná. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.12 Řasnaté tělísko

Řasnaté tělísko (corpus ciliare) navazuje na duhovku a dále pokračuje v cévnatku. Umožňuje akomodaci (zaostření). V přední části řasnatého tělíska se nacházejí výběžky, které produkují komorovou nitrooční tekutinu pro výživu bezcévných struktur oka a odvod katabolitů. Mezi jednotlivé výběžky se upínají vlákna závěsného aparátu čočky, která umožňují již zmíněnou akomodaci. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.13 Cévnatka

Cévnatka (choroidea) tvořena cévními kmeny a mohutnou kapilární sítí. Stará se o výživu optické části sítnice. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.14 Čočka

Dohromady s rohovkou láme světlo a směřuje ho na sítnici. Optická mohutnost je asi 19 dioptrií, což je čtvrtina optické mohutnosti oka. Skládá se z kapsulu, kortexu a jádra. [1] [2] [3] [4] [5]

1.1.15 Sklivec

Sklivec má důležitou roli během vývoje, po narození se postupně vytrácí. Jedná se o průhledný, bezcévný gel složený z proteinů, kyseliny hyaluronové, kolagenu a vody. Vyplňuje prostor mezi čočkou, řasnatým tělesem a sítnicí. [1] [2] [3] [4] [5]

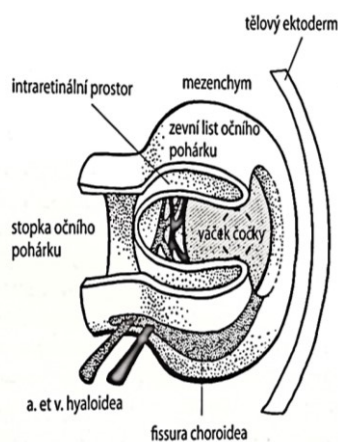
1.1.16 Sítnice

Sítnice (retina) tvoří vnitřní vrstvu oka. Podrobněji popsána dále (Retinální systém). [1] [2] [3] [4] [5]

2 Retinální systém

2.1 Vývoj sítnice a zrakového nervu

Sítnice vzniká z očního pohárku (Obrázek 6), který vznikl invaginací očního váčku, který má svůj původ v mozkovém váčku. Můžeme tedy říct, že tyto všechny struktury jsou neuroektodermovaného původu. Oční pohárek obsahuje dva listy, které jsou složeny z cylindrických buněk. Cylindrické buňky zevního listu se zkracují a od 5. týdne dochází k sekreci melaninových zrn a postupně se transformují v jednovrstevný pigmentový epitel. Buňky vnitřního listu se transformují ve víceřadý neuroepitel a tvoří kmenové buňky sítnice, z nichž vznikají všechny buňky sítnice (výjimkou pigmentových buněk) tzv. neuroblasty a spongioblasty. Světločivé tyčinky a čípky (unipolární buňky), bipolární neurony a gangliové buňky vznikají z neuroblastů, dochází k vytvoření typické laminární struktury. Axony unipolárních buněk se propojují s dendrity bipolárních buněk a ty tvoří synapse s gangliovými buňkami. Gliové Mullerovy buňky, které vznikly ze spongioblastů, tvoří zevní a vnitřní povrch vnitřního listu původního očního pohárku. Intraretinální prostor, který komunikuje pomocí stopky očního pohárku s dutinou mozkového váčku, se postupně zmenšuje přikládáním zevního a vnitřního listu. V této fázi dochází k tomu, že se fotoreceptorové buňky vnitřního listu očního pohárku dostanou do kontaktu s pigmentovými buňkami zevního listu, a vzniká kompaktní sítnice. Spojení je podporováno nitroočním tlakem, avšak i přes to není moc pevné a může dojít k oddělení. Poslední část sítnice fovea centralis obsahuje nejprve větší množství buněk než zbytek sítnice. Gangliové buňky sice postupně mizí, ale spojení mezi bipolárními buňkami a čípkami zůstává zachováno. Vývoj fovea centralis trvá až do čtyř let života dítěte. Choroidální štěrbina neuroektodermovaného původu vzniká při přeměně očního váčku v oční pohárek v jeho spodní části stopky. Do mezenchymu štěrby pronikají hyaloidní arterie a vena vyživující oční pohárek i váček čočky. V 6. týdnu vývoje se choroidní štěrbina transformuje a zůstane po ní jen místo, kde do stonku později zrakového nervu, vniká a. hyaloidea později a centralis retinae. Axony gangliových buněk srůstají s očním pohárkem zejména v části stopky, kde dochází tím pádem ke zvětšení stopky a transformaci ve zrakový nerv, který obsahuje arteria et vena centralis retinae. Spongioblasty stopky se diferencují ve fibrilární astrocyty a oligodendrocyty a dále postnatálně v myelin zrakového nervu. [1] [2] [3] [4] [5]



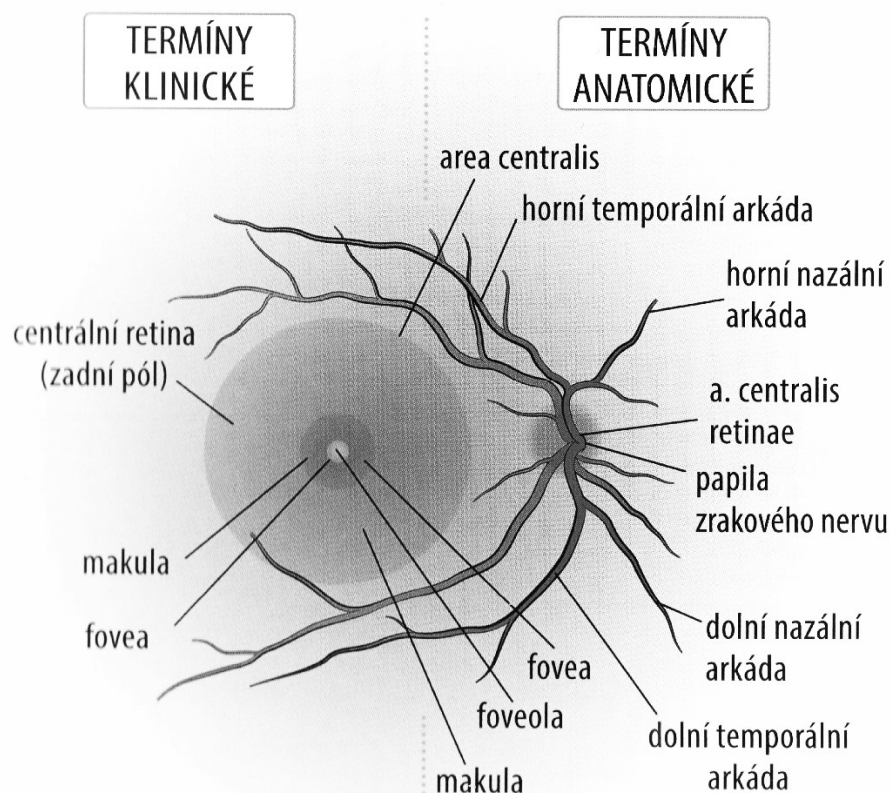
Obrázek 6: Schéma očního pohárku. [3]

2.2 Anatomie a fyziologie sítnice

Pokud bychom si oko představili jako kameru, sítnice by byla její citlivý film. Na sítnici dochází k transformaci světelných podnětů na elektrické potenciály, které jsou dále převáděny zrakovým nervem do zrakové centra mozkové kůry, kde již vzniká samotný obraz. [1] [2] [3] [4] [5]

Sítnice (Obrázek 7) je ve skutečnosti transparentní blanka, která tvoří vnitřní vrstvu oka o tloušťce 0,1 až 0,25 nm. Pars optica (zadní část sítnice) zahrnuje tyčinky a čípky (fotoreceptory). Pars caeca retinae (přední část sítnice) je slepá, jelikož neobsahuje fotoreceptory a nervové buňky, a kryje vnitřní část řasnatého tělesa a zadní část duhovky. Přední část sítnice je od zadní oddělena pomocí ora serrata (zubovitá linie). Sítnice není pevně fixována k cévnatce, pevně je fixována pouze k okraji papily a ora serrata. Při pohledu oftalmoskopem rozlišujeme: [1] [2] [3] [4] [5]

- terč zrakového nervu, kterým do oka vstupují retinální artérie a z oka vystupují retinální žíly.
- Makulární oblast s foveou a foveolou,
- nazální a temporální dolní a horní arkády cév,
- periferii sítnice s ora serrata.

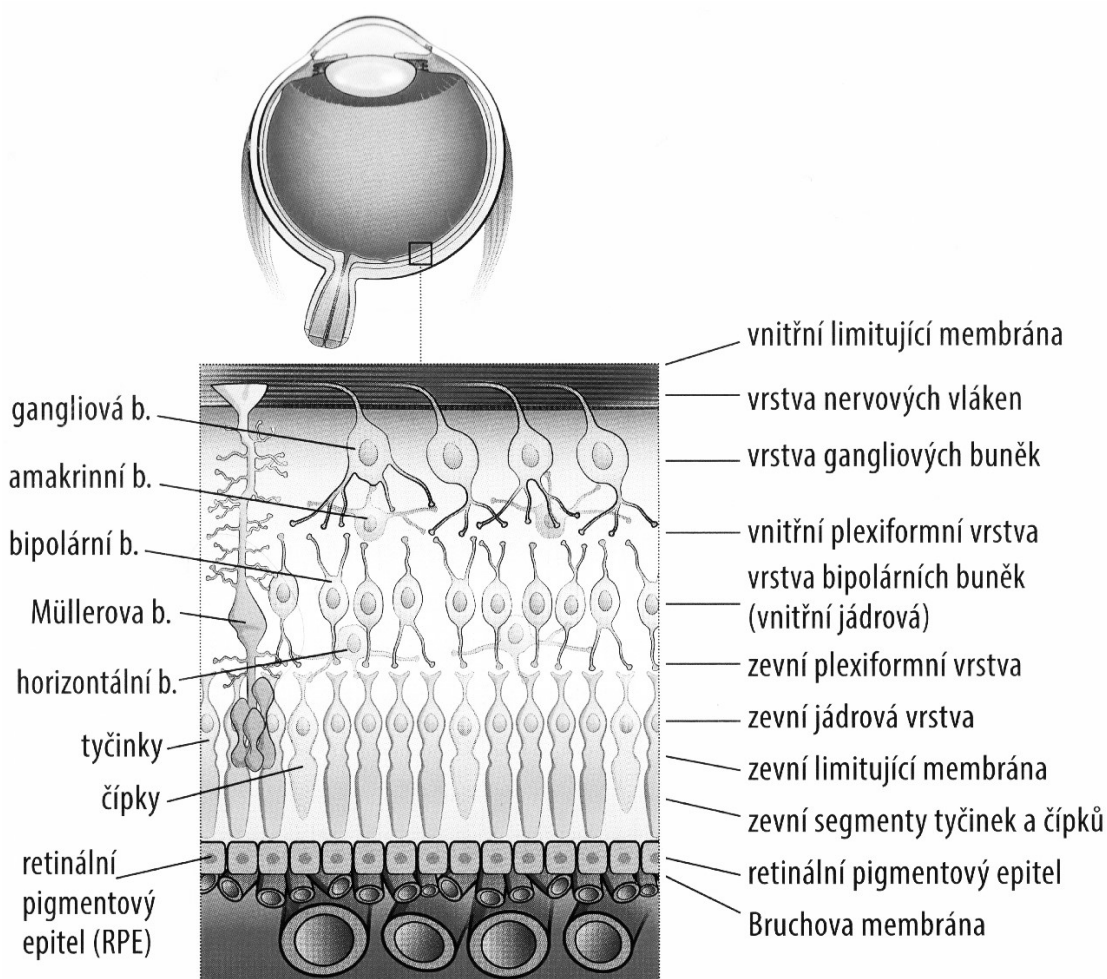


Obrázek 7: Anatomická a klinická terminologie sítnice. [4]

V souvislosti s již výše zmíněným vývojem sítnice z očního pohárku rozeznáváme dvě hlavní vrstvy sítnice (Obrázek 8). [1] [2] [3] [4] [5]

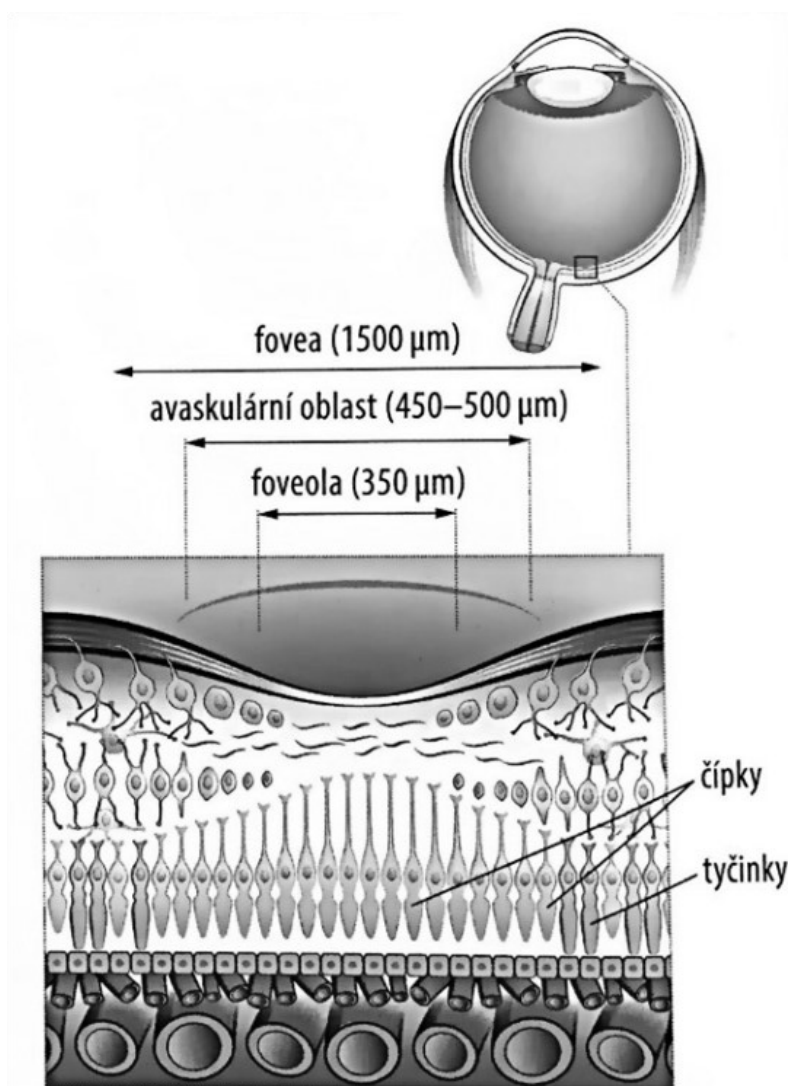
Zevní vrstva je tvořena jednovrstevným pigmentovým epitem a jeho bazální membránou (Bruchova membrána). Sítňice není pevně fixována k cévnatce, pouze leží Bruchovou membránou na choriokapilaris cévnatky. Pigmentové buňky zevní vrstvy sítnice zajišťují látkovou výměnu mezi choriokapilaris cévnatky a zadními vrstvami sítnice (tyčinky a čípky), které jsou takto pomocí difúze vyživovány. [1] [2] [3] [4] [5]

Vnitřní vrstva sítnice (neuroretina) vzniká z vnitřního listu embryonálního očního pohárku. Lze ji rozdělit do tří celků. První z nich jsou fotoreceptory (tyčinky a čípky), které nasedají na pigmentový epitel sítnice, další celek představují bipolární buňky, které jsou pomocí dendritů spojeny s pigmentovými buňkami a pomocí neuritů s dendrity gliových buněk, které tvoří nejvnitřnější celek sítnice směřující k papile a následně přecházející pomocí neuritů gliových buněk v druhý hlavový nerv (n. optici). Amakrinní buňky zajišťují horizontální spojení v jednotlivých celcích. Mullerovy buňky diferencované z gliových buněk se nacházejí v oblasti bipolárních buněk a prostupují svými výběžky celou sítnicí. Konce výběžků se spojují a tvoří vnitřní a zevní hraniční membránu. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 8: Vrstvy sítnice. [4]

V centrální části sítnice se nachází **žlutá skvrna** (macula lutea), obsahuje největší množství čípků a zajišťuje vidění za denního světla a rozlišování barev. Tyčinky se naopak nacházejí v periférii sítnice a zajišťují vidění za tmy a za šera. Žlutá skvrna (Obrázek 9) má ve svém středu prohlubeň faveu centralis, dno prohloubení se nazývá faveola. Faveola obsahuje především čípky. Bipolární a gliové buňky faveoly jsou odkloněny a podněty, které přicházejí na sítnici, neprocházejí tedy všemi vrstvami, ale dopadají přímo na čípky. Každý čípek ve faveole má svoji bipolární a gliovou buňku, bipolární a gliové buňky dále od faveoly jsou již napojeny na více čípků a tyčinek, a tudíž zde není vidění tak ostré jako ve faveole. Fovea centralis je bezcévná (avaskulární). [1] [2] [3] [4] [5]



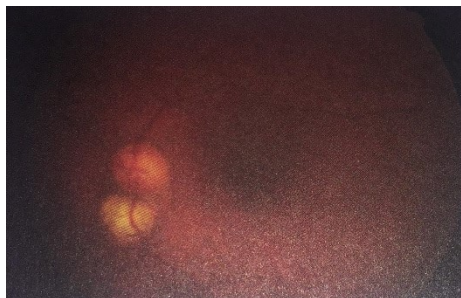
Obrázek 9: Schématický průřez makulou. [4]:

Cévní zásobené sítnice zprostředkovává a. centralis retinae, která zásobuje vnitřní část sítnice. Její větve jsou konečnými arterioly a větví se bez anastomóz ve vrstvě gangliových a bipolárních buněk. Stěny sítnicových kapilár jsou nepropustné pro větší molekuly, to se dá využít například ve fluorescenční angiografii, kdy fluorescein prochází pouze stěnou poškozených kapilár. A. cilioretinalis vyživuje vnitřní vrstvy zadního pólu oka. Pigmentové buňky, tyčinky a čípky jsou vyživovány z choriokapilaris (cévnatka). [1] [2] [3] [4] [5]

2.3 Patologie retinálního systému

2.3.1 Vrozené vady sítnice

Vrozené vady sítnice jsou vzácný jev. Nejznámější je kolobom (Obrázek 10) sítnice. Kdy dochází k poruše uzávěru fetální štěrbin. Postižení závisí na lokalizaci, často postihuje makulu tzn. je zhoršena ostrost vidění. Další vrozená vada sítnice je způsobena perzistencí myelinových pochev zrakového nervu, které za normálních okolností končí v lamina cibrosa, na pozadí nacházíme sytě bílá ložiska tzv. fibrae medullares. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 10 Vrozený kolobom sítnice a cévnatky. [2]

2.3.2 Záněty sítnice

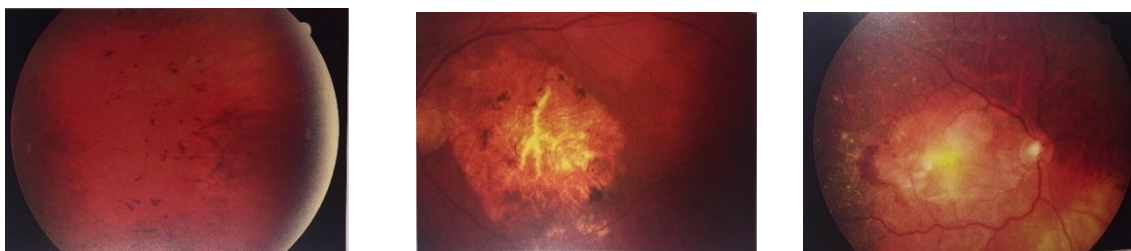
- **Septický zánět sítnice** – bývá způsoben infekčním agens hematogenní cestou do větvi arteria centralis retinae anebo mohou být zdrojem infekce i parazité. Při propuknutí většího zánětu může dojít i k postižení zrakového nervu, při mírnější formě vznikají chorioretinální atrofické jizvy.
- **Akutní nekróza sítnice** – virové onemocnění, postihující pacienty po léčbě imunosupresivy, pacienty s HIV a pacienty s virem herpes simplex, herpes zoster a cytomegalovirem. Onemocnění se projevuje ztrátou vidění, vaskulitidou, sítnice nekrotizuje a dochází k jejímu odchlípení a následné trvalé slepotě.
- **Chorioretinopathia centralis serosa** – se projevuje elevací sítnice způsobenou puchýřky, které obsahují vodu, pacient má zkreslené vidění. [1] [2] [3] [4] [5]

2.3.3 Degenerace sítnice

Oboustranné nezápalivé onemocnění sítnice. Je velmi obtížné určit, jestli je postižena cévnatka nebo sítnice, jelikož jsou umístěny velmi blízko sebe, proto se používá označení chorioretinální degenerace. [1] [2] [3] [4] [5]

- **Pigmentová degenerace sítnice** – jedná se o dědičné onemocnění. Změny sítnice se projevují nejprve na periférii (pigmentová ložiska ve tvaru kostních buněk (Obrázek 11)) a postupují do středu sítnice, pacientovi se zhoršuje vidění za šera zejména během puberty. [1] [2] [3] [4] [5]
- **Degenerace makuly** – hereditární, která se objevuje do 30 let věku. Dochází k oboustranné slepotě. A dále věkem podmíněná, která je nejčastější důvod ztráty zraku u lidí nad 60 let věku. Rozlišuje se suchá (atrofická) a vlhká forma. U suché formy (Obrázek 11) dochází k úbytku kapilár cévnatky v oblasti makuly a pacientovi se zhoršuje ostrost vidění. U vlhké formy (Obrázek 11) taktéž dochází k úbytku

kapilár a zároveň novotvorbě pod Bruchovou membránou pod pigmentovým epitelem, což vede během několik týdnů ke ztrátě zraku. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 11: Pigmentová degenerace sítnice s pigmentovým ložiskem ve tvaru kostních buněk [4] (vlevo). Věkem podmíněná degenerace makuly – suchá forma. [4] (uprostřed). Vlhká forma věkem podmíněné degenerace. [4] (vpravo).

2.3.4 Odchlípení sítnice

Je onemocnění, kdy dochází k odloučení smyslového (senzorického) epitelu neuroretiny od pigmentového epitelu. Mezi výše jmenovanými epitelu se hromadí tekutina z cévnatky nebo ze sklivce, a tudíž dochází k narušení zásobování fotoreceptorů. Pokud se odchlípení brzy přiloží zpět, fotoreceptory obnoví svoji funkci, v opačném případě je porucha zraku trvalá. Odchlípení sítnice dělíme na primární (nachází se zde trhлина nebo díra sítnice) a sekundární (odchlípení je způsobeno jiným očním onemocněním). [1] [2] [3] [4] [5]

2.3.5 Nádory sítnice

Retinoblastom – zhoubný nádor sítnice, vyskytuje se u 1 z 20 tisíc narozených dětí. Většinou se nejedná o dědičné onemocnění. U dětí se projevuje šilháním, které je způsobeno retinoblastomem na zadním pólu oka, postupem času nádor prorůstá do sklivcového prostoru (endofytický růst) anebo pod sítnici (exofytický růst). Pokročilé stádium je nazýváno amaurotické kočičí oko (Beerův příznak) a může způsobit sekundární glaukom. Neléčený retinoblastom metastázuje do očníce, mozku, plic a způsobuje smrt dítěte. U malých nádorů spočívá ošetření ve fotokoagulaci, kryokoagulaci a následné chemoterapii a aktinoterapii. U závažných případů je nutná enukleace oka. [1] [2] [3] [4] [5]

Pseudogliom – nádory podobné retinoblastomu, ale avšak podkladem je fibrovaskulární tkáň ve sklivcovém prostoru na rozdíl od retinoblastomu. Příčiny jsou různé například retinopatie nedonošených dětí, zánět, krvácení do sklivce a jiné. [1] [2] [3] [4] [5]

2.3.6 Oběhové poruchy sítnice

Jedná se o velmi časté onemocnění, kdy dochází k poruchám zrakových funkcí.

Okluzi neboli uzávěr cévy dělíme na:

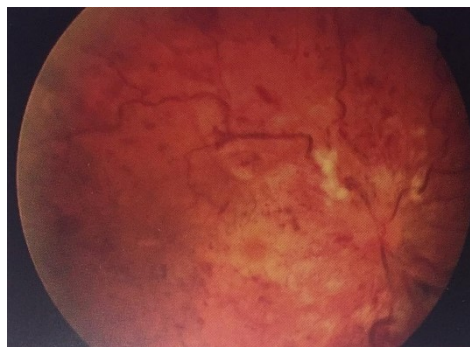
- venózní (kmenová, větvová)
- arteriální (kmenová, větvová)

Venózní okluze a její příčiny vzniku:

- Sklerotické změny (hypertenze, hyperlipidémie, hypercholesterolemie, diabetes mellitus).
- Hematologické onemocnění (hyperviskózní a antifosfolipidový syndrom, myelom, faktor V Leiden).
- Zánětlivá onemocnění (vaskulitida, sarkoidóza, syfilis atd...).
- Oční příčiny (oční hypertenze, glaukom, trauma hlavy atd...).

Venózní okluze postihuje buď kmen vena centralis retinae nebo její větve. Uzávěr vzniká z důvodu stlačení sítnicové žíly v důsledku aterosklerotických změn nebo z důvodu vzniku trombu. Při kmenové venózní okluzi (Obrázek 12) dochází k uzávěru v oblasti lamina cribrosa papily zrakového nervu, dělí se na formu neischemickou s lepší prognózou a ischemickou. U větвовé venózní okluze dochází k uzávěru žíly v místě sítnicové žilní větve, většinou v oblasti arteriovenózního křížení, kde dochází ke kompresi tuhou arterií. Zpomalení krevního toku kvůli kompresi způsobuje vznik trombu a následný uzávěr vény. Venózní okluze je druhým nejčastějším onemocněním po retinopatii. [1] [2] [3] [4] [5]

Uzávěr vena centralis retinae se vyskytuje mnohem častěji oproti uzávěru arteria centralis retinae. Může dojít k uzávěru celého kmene nebo jednotlivých větví. Ve většině případů je uzávěr vena centralis retinae způsoben arteriosklerózou nebo dlouhodobou arteriální hypertenzí. Málokdy jde o primární trombózu. Postižený má rychlou ztrátu zrakové ostrosti, nikdy nenastane úplná slepota jako u uzávěru arteria centralis retinae. Oftalmologicky je zrakový terč neostře ohraničený, překrvený a prosáklý, sítnicové žíly jsou nápadně široké a tmavě fialové. Léčba – laserová fotokoagulace sítnice. [1] [2] [3] [4] [5]



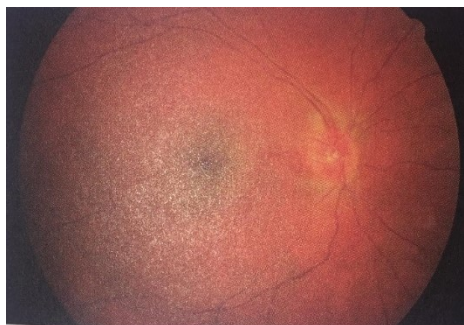
Obrázek 12: Ischemická kmenová okluze sítnicové vény. [2]

Arteriální okluze příčiny vzniku:

- Embolizace.
- Zvýšený nitrooční tlak (angulární glaukom, okuloprese).

Centrální (kmenová) arteriální okluze je specifická vznikem embolu v oblasti lamina cribrosa a edému v oblasti bipolární a gangliových buněk. Patrná je i skvrna v makule (zde je vrstva sítnice velmi tenká, a proto prosvítá pigmentový epitel sítnice a cévnatka). U větвовé arteriální okluze jsou patrné nejčastěji emboly cholesterolové, z destiček a fibrinu a kalcifikované. [1] [2] [3] [4] [5]

Uzávěr arteria centralis retinae nastává většinou kombinací tří hlavních faktorů, spasmus, organické a cévní změny při arterioskleróze a arteriální hypertenzi a celková oběhová insuficience. Málokdy je příčinou právě aneurysma aorty nebo srdeční embol. Uzávěr arteria centralis retinae se projevuje poruchou vidění. V případě uzávěru celého kmene je ztráta vidění úplná, pokud se jedná o uzavěr pouze jednotlivých větví, dochází k výpadkům zorného pole. Při oftalmologické vyšetření lze uzavěr zaznamenat jako šedobělavé zakalení sítnice (Obrázek 13). Je nutné obnovit cévní oběh, jinak mohou být poruchy zraku nevratné. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 13: Oftalmoskopický obraz kmenové okluze centrální sítnicové arterie s ischemickým edémem centra sítnice a prosvítající třeshňovou makulou. [2]

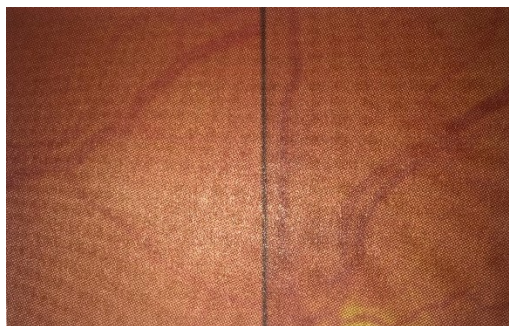
3 Retinopatie

3.1 Angiopatie a retinopatie u celkových onemocnění

Pokud jsou postiženy cévy sítnice během celkových onemocnění, nazývá se tento stav angipatií. Jestliže nastávají zároveň i ložiskové změny sítnice, mluví se o retinopatii. Na sítnici jako na jediném místě v našem těle můžeme cévy pozorovat přímo. Zhodnocení stavu sítnice je velmi důležité i pro ostatní lékařské obory, jelikož pokud se objeví změny na cévách sítnice, můžeme tyto změny očekávat i jinde (ledviny, srdce, plíce). Platí Volhardova poučka, že sítnice je zrcadlem ledvin. Pro posouzení se provádí vyšetření očního pozadí v arteficiální mydriáze (rozšíření zornice). [1] [2] [3] [4] [5]

3.2 Skleróza sítnicových cév

A. centralis retinae má viditelnou svalovou vrstvu, která je průhledná. Reflexní proužek na hlavních arteriálních větvích daný napětím a elasticitou cévní stěny, je pravidelný a zaujímá asi 1/3 šíře tepny, při pokročilém stádiu může mít proužek vzhled měděného drátu. S postupem věku nastupuje hyalinní a fibrózní degenerace, která se stupňuje u dlouhotrvající arteriální hypertenze, diabetu, hyperlipidemie a nitrooční vaskulitidy. Degenerace způsobuje tloušťnutí stěny cév a úbytek přítoku krve vyživující sítnici. Charakteristické jsou fenomény arteriovenózního křížení (Obrázek 14). V místě křížení tepny a žily, se žila jeví zúžená až přerušená. Při pokročilé angioskleróze sítnice vznikají ohraňované defekty pigmentového epitelu a choriokapilaris, dochází také k uložení hyalinního materiálu v Buchově membráně. Viditelné jsou kruhové hemoragie sítnice. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 14: Útlak a zúžení venul v místech křížení s rigidními sklerotickými arterioly. [2]

3.3 Hypertonická angiopatie a retinopatie

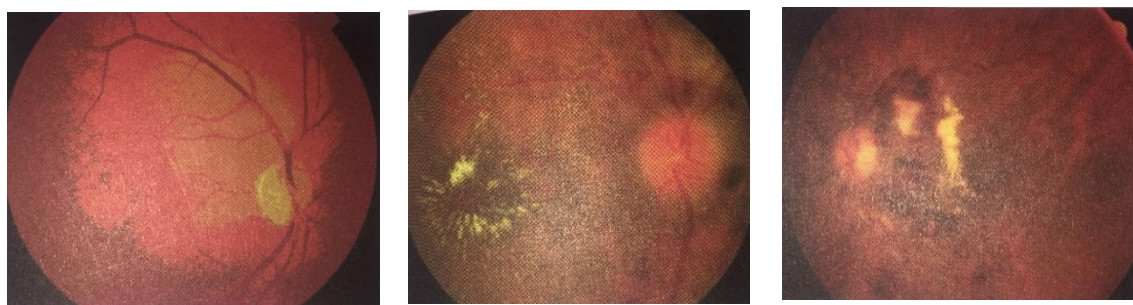
Vznik arteriální hypertenze (Obrázek 15):

- Při zúžení artérií, a tudíž při zvýšeném odporu v tepenném řečišti (glomerulonefritidy, feochromocytom), což má za následek spastické zúžení sítnicové artérie.
- Při zvýšení srdečního výkonu a zvětšeném minutovém objemu (esenciální hypertenze, stenóza aorty), což vede k vinutosti normálně širokých arterií.

Dělení změn na pozadí sítnice do čtyř stupňů:

- I. **Angiopathia hypertonica** – tepny jsou úzké, narovnané, větví se pod ostrým úhlem. Rozšíření žilek okolo makuly tzv. Guistův příznak. Dochází k funkčním a většinou vratným změnám. Výskyt především u mladých pacientů s počínající hypertenzí.
- II. **Angiosclerosis hypertonica** – u pacientů, kteří trpí hypertenzí již delší dobu, vznikají strukturální změny cév. Změny jsou podobné arterioskleróze.
- III. **Retinopathia hypertonica** – se projevuje u pacientů s dlouhodobě nekompenzovanou nebo špatně kompenzovanou hypertenzí. Arterie mají podobu stříbrného drátu. Jsou přítomny i ložiskové změny (krvácení, edém, měkké a tvrdé exsudáty).
- IV. **Neuroretinopathia hypertonica** – projev maligní hypertenze. Znakem je prosáknutí, prominence a hemoragie zřetelného terče. V dnešní době s pokročilou léčbou hypertenze se s tímto onemocněním setkáváme velmi zřídka. [1] [2] [3] [4] [5]

Se správnou léčbou hypertenze mohou změny na sítnici zcela zmizet.



Obrázek 15: Hypertonická retinopatie s radiálně uspořádanými tvrdými exsudáty v makulární krajině při chronickém makulárním edému. [2] (vpravo) Hypertonické sítnicové cévní změny I. a II. stupně u mladého hypertonika. [2] (uprostřed) Hypertonická neuroretinopatie s chronickým edémem terče zřetelného nervu, a hlavně nazální částí centrální krajiny. [2] (vlevo)

3.4 Těhotenská retinopatie

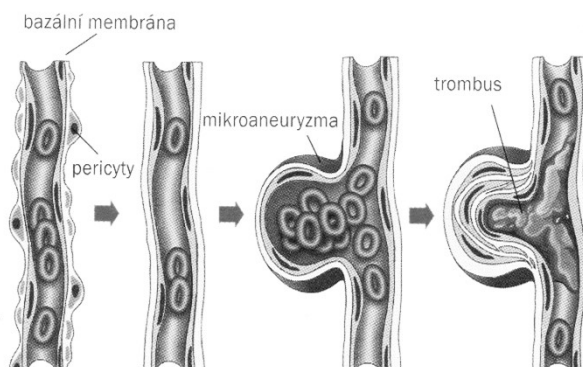
Těhotenská retinopatie se vyskytuje v posledních měsících těhotenství, je vážnou komplikací těhotenství, indikující okamžité přerušování těhotenství. Vznik těhotenské retinopatie je spojován s toxickým poškozením ledvin a vysokým diastolickým tlakem. Nález na sítnici je podobný jako u hypertonické neuroretinopatie, rozsáhlý edém, v extrémním případě exsudativní odchlípení sítnice. Při záchvatu tonicko-klonických křečí (eklampsie) dochází ke ztrátě vidění. Při nynější prenatální péči je výskyt tohoto onemocnění velmi vzácný. [1] [2] [3] [4] [5]

3.5 Diabetická retinopatie

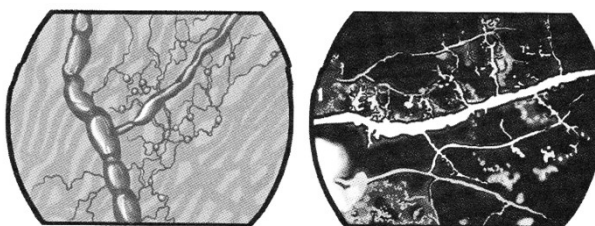
S neustále rostoucím počtem diabetiků, nyní je v České republice cca 9 % diabetiků z celkové populace, se stává diabetická retinopatie sociálně-ekonomický problém. Diabetická retinopatie je důvodem slepoty u 2-3 % diabetiků. U diabetu 1. typu, objevujícího se v dětském věku, se diabetická retinopatie může objevit po 10 a více letech. U diabetu 2. typu se diabetická retinopatie vyvíjí mnohem rychleji. Čím lépe je diabetes kompenzován, tím později oční problémy přicházejí. [1] [2] [3] [4] [5]

Prvním projevem diabetické retinopatie je mikroangiopatie (Obrázek 16), ta se projevuje především u malých kapilár, u kterých dochází k úbytku endotelových buněk, zániku pericytů a ukládání glykoproteinů v bazální membráně kapilár, což způsobuje rozšíření kapilár a vznik výdutě

(mikroaneuryzma) (Obrázek 17). Propustnost stěn kapilár se zvyšuje a dochází k ucpání daných kapilár, nastává hypoxie sítnice (nedostatek kyslíku), která už tak je zatížená zvýšenou hladinou glukózy v krvi, zvýšenou schopností shlukování erytrocytů a zvýšenou glykací hemoglobinu. Sítnice začíná produkovat vazoaktivní látky, které způsobují patologickou vaskularizaci, vývoj gliální proliferace a tvorbu membrán, které způsobují krvácení do sítnice a sklivce, což může způsobit až odchlípení sítnice a slepotu. Další příčinou je diabetická makulopatie, vazoaktivní látky nepůsobí pouze na zadní segment oka, ale pronikají i do předního segmentu (neovaskulizace řasnatého tělesa, duhovky), kde mohou způsobit neovaskulární glaukom. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 16: Schéma vzniku mikroaneuryzmat u diabetické mikroangiopatie. [2]



Obrázek 17: Nákres cév diabetika s mikroaneuryzmaty (vlevo) a zobrazení mikroaneuryzmat při fluorescenční angiografii. [2]

3.5.1 Oftalmologický obraz diabetické retinopatie

Kombinace četných sítnicových změn:

- I. Mikroaneurysmata a nepravidelná kapilární síť (červené body). Intraretinální mikrovaskulární abnormality (rozšířené zkraty kapilárních spojů).
- II. Diabetická flebopatie (růžencovitý vzhled žil) kde jsou postiženy více žily.
- III. V nervové vrstvě plaménková hemoragie a v gangliové vrstvě stříkancová hemoragie.
- IV. Měkká ložiska v nervové vrstvě.
- V. Tvrdá ložiska (lipoidní látky) vznikající na podkladu insuficience.
- VI. Edém (zkalení a ztlustění sítnice). Edém společně s hemoragiemi a tvrdými ložisky tvoří obraz diabetické makulopatie.
- VII. Neovaskularizace. [1] [2] [3] [4] [5]

3.5.2 Klasifikace diabetické retinopatie

Tabulka 1: Základní charakteristiky a klasifikace diabetické retinopatie. [1] [2] [3] [4] [5]

Stádium	Nález na očním pozadí
Neproliferativní diabetická retinopatie (Obrázek 18) (NPDR)	
počínající až středně pokročilá	<ul style="list-style-type: none"> • tvrdé exsudáty • mikroaneurysmata • mikrohemoragie • intraretinální hemoragie • cévní změny v oblasti makuly • flebopatie
pokročilá (postižená je celá sítnice)	<ul style="list-style-type: none"> • vakovité exsudáty • venózní abnormality • intraretinální mikrovaskulární abnormality (IRMA), měkké exudáty • ischemie sítnice • vatovitá ložiska
Proliferativní diabetická retinopatie (Obrázek 18)	<ul style="list-style-type: none"> • neovaskularizace na sítnici nebo papile • trakční amoce sítnice • intravitreální krvácení

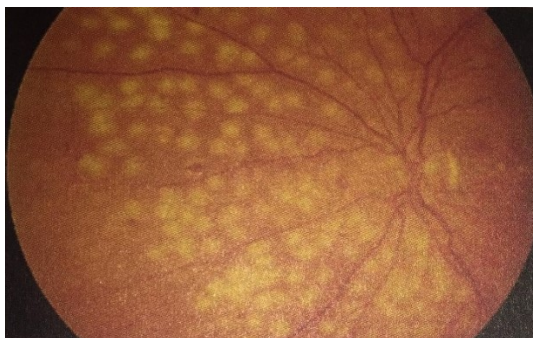
Diabetická makulopatie vzniká na podkladu mikroangiopatie. Struktura makuly je předurčená pro vývoj intraretinálního edému a rozvoj cystických intraretinálních změn, tyto všechny faktory mohou způsobit slepotu i u stabilizované diabetické retinopatie. [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 18: Středně pokročilá forma neproliferativní DR s četnými mikroaneurysmaty v centrální krajině i kolem centra sítnice na angiogramu. [2] (vlevo) Proliferativní DR s proliferacemi na terči zrakového nervu v okolí podél hlavních cévních arkád a rozsáhlými kapilárními uzávěry v periferii dobře patrnými při fluorescenční angiografii. [2] (vpravo)

3.5.3 Léčba diabetické retinopatie

Důležitý je screening populace, který umožní včasnou léčbu diabetické retinopatie. Spolupráce oftalmologa a diabetologa na dokonalé kompenzaci diabetu a minimálně ročních kontrolách očního pozadí. DR je léčena panretinální fotokoagulací argonovým nebo diodovým laserem (Obrázek 19), kdy pomocí několikaset zásahů je pokryta celá sítnice kromě makuly. Pomocí fotokoagulace se přeměňují hypoxické oblasti sítnice na chororetinální jizvy, pozastavuje se neovaskulizace a dochází tedy i ke zlepšení oběhu nekoagulované sítnice (makuly). Diabetická makulopatie je také léčena pomocí laseru (mikroaneurysmata). Pokročilá forma proliferativní DR je léčena pomocí chirurgického řešení pars plana vitrektomie (odstranění sklivce). [1] [2] [3] [4] [5]



Obrázek 19: Fotografie fundu po sektorovém laserovém ošetření nazálně od terče zrakového nervu pro pokročilou formu neproliferativní diabetické retinopatie. [2]

4 Retinopatie nedonošených

Retinopatie nedonošených vzniká většinou z těchto příčin:

- Předčasné narození dítěte s nízkou porodní váhou pod 1500 g, nebo narození před 32. gestačním týdnem.
- Respirační nedostatečnost, nutnost podstoupit oxygenoterapii.

Dítě narozené předčasně nemá zcela dokončený vývin retinálních cév rostoucích od terče směrem do periferií, tzn. v nezralé sítnici není zcela dokončena vaskularizace a retinální cévy končí v ekvátoru pozadí. Při nadměrné oxygenoterapii (nad 40 %) si sítnice zvykne na vysoký parciální tlak a nadměrnou koncentraci kyslíku v inkubátoru, dochází k hyperoxii, která způsobuje úbytek produkce vaskulárního endotelového růstového faktoru (VEGF), nastává vazokonstrikce a obliterace sítnicových cév a zastavuje se růst cév nových. Po skončení léčby v inkubátoru, kdy je dítě vystaveno normálnímu parciálnímu tlaku a koncentraci kyslíku, se sítnice ocitne v hypoxickém stavu, dochází k ischemii avaskulární (nezralé) periferie sítnice, která tvoří nadprodukcí VEGF látky. Vystupňovaná ischemie je podnětem k neovaskularizaci. Cévy se rozšiřují a jsou vinutější. Ateriovenózní zkraty, novotvořené cévy provázené vazivovou tkání, které vznikají na místě setkání vaskularizované a avaskulární sítnice, pronikají do ora serrata, ale i dále do sklivce. Nově vzniklé kapiláry se projevují jako červený lem na rozhraní vaskularizované a avaskulární tkáně, tento jev je lépe vidět temporálně, kde je avaskulární vrstva tlustší. Krvácení z nových cév podporuje další proliferaci, to táhne sítnici dopředu do středu oka. Tato posloupnost jednotlivých reakcí může vést až k odchlípnutí sítnice a trvalé slepotě. Poslední fáze choroby jsou hutné fibrovaskulární masy vyplňující prostor za čočkou. [1] [2] [3] [4] [5] [6]

4.1 Klinický obraz

Existují dvě formy:

- Aktivní akutní forma ROP.
- Jizevnaté chronické změny (následek ROP).

4.2 Aktivní akutní forma ROP

Mezinárodní klasifikace ROP používá ke klasifikaci závažnosti formy ROP čtyři parametry:

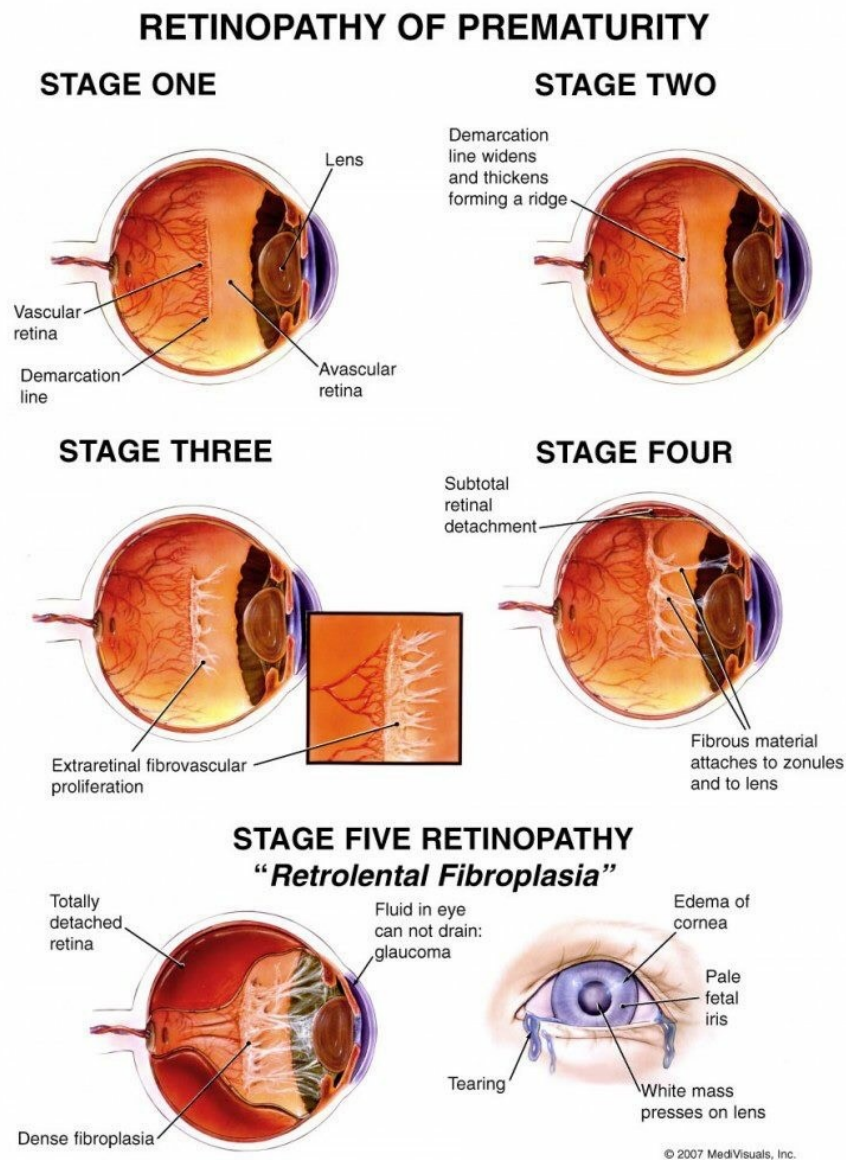
- Vývojové stádium nemoci.
- Lokalizace patologických změn do jedné ze tří zón sítnice.
- Rozsah změn.
- Plus forma.

Ad.1) Vývojové stádium nemoci

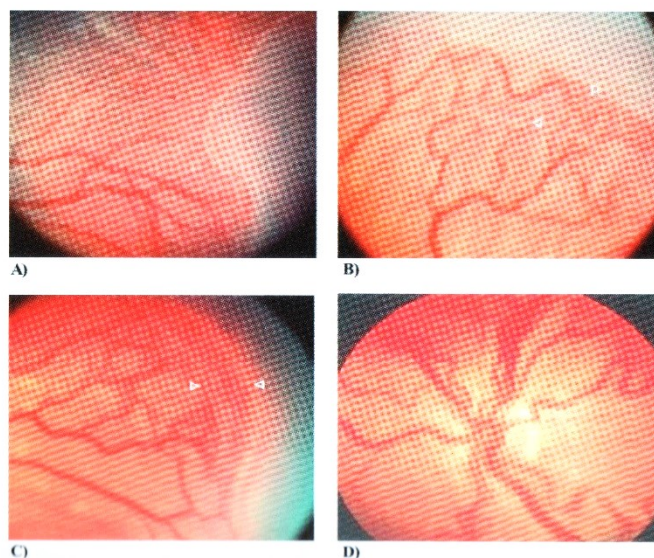
Je rozděleno do pěti stádií (Obrázek 20, Obrázek 21).

1. stadium – je charakterizováno tenkou bělavou demarkační linií mezi centrální vaskularizovanou sítnicí a světlejší periferní avaskulární částí sítnice.
2. stadium – je reprezentováno trsy nově vzniklých cév na zadní hranici avaskulární sítnice, tvoří širší, hladký, bělavý, vyvýšený val nazývaný též hřebínek.

3. stadium – narůžovělý až jasně červený hřebínek (val) s extraretinálními fibrovaskulárními proliferacemi zasahujícími do sklivce (roztřepený vzhled).
4. stadium – trakční odchlípení sítnice, které se šíří od periferie k zádnímu pólu oka.
5. stadium – definitivní odchlípení sítnice. [1] [2] [3] [4] [5] [6]



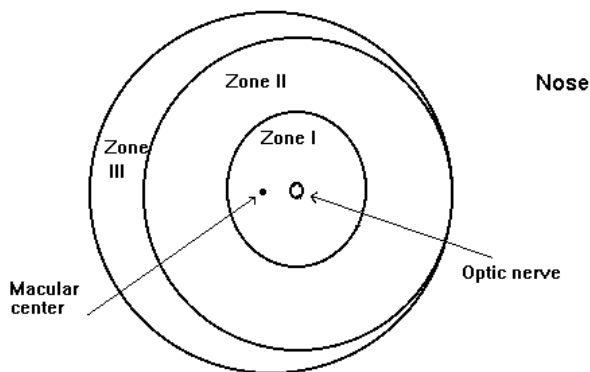
Obrázek 20: Pět stadií ROP. [10]



Obrázek 21: A) I. stadium, B) II. stadium (prahové) s hřebenovitým vyvýšením demarkační linie, vaskularizacemi, počínající extraretinální fibroproliferací, D) dilatované a vinuté cévy při tzv. plus onemocnění ROP. [6]

Ad.2) Lokalizace patologických změn do jedné ze tří zón sítnice.

Rozdělení sítnice na tři zóny (Obrázek 22). Zóna I (vnitřní zóna) zaujímající kruh okolo terče o poloměru dvojnásobku vzdálenosti terč-makula. Zóna II navazující na zónu I mezikružím nazálně sahajícím až k ora serrata. Zóna III zahrnuje temporální srpek v periferii. [1] [2] [3] [4] [5] [6]



Obrázek 22: Lokalizace patologických změn do jedné ze tří zón.

Ad.3) Rozsah změn

Je dán dle počtu postižených úseků obvodu sítnice.

Ad.4) Plus forma

Je charakterizována dilatací žil a vinutostí arterií v oblasti zadního pólu oka. Může být přítomna u každého stádia a označuje se znaménkem +. [1] [2] [3] [4] [5] [6]

4.3 Průběh ROP

Děti narozené před 32. gestačním týdnem a s váhou nižší než 1500 g se vyšetřují 1-2 týdny po narození až do úplné vaskularizace III. zóny. První stádium se vyskytuje průměrně ve 34. gestačním týdnu, společně s druhým stádiem vyskytovaným v 35. týdnu, často samovolně ustupuje. Třetí stádium se vyskytuje průměrně okolo 36. gestačního týdne, též může ustoupit bez léčby, ale existuje asi 50% riziko další progresse spojené se zhoršením zraku. U těžších forem ROP, kde jsou i známky plus formy a u ROP v oblasti I. zóny je samovolné ustoupení nepravděpodobné, je tedy nutná léčba. Nejtěžší průběh mají opravdu velmi brzo narozené děti s porodní hmotností okolo 1000 g. [1] [2] [3] [4] [5] [6]

4.4 Následky proběhlé ROP

Patologické větvení a vlnění cév, avaskulární periferie a vyšší myopatie. Avšak je nutné dodat, že následky jsou velmi individuální u jednotlivých pacientů, záleží na rozsahu onemocnění a gestačním věku.

4.5 Léčba ROP

Léčba je indikována u třetího stadia ROP s extraretinálními neovaskularizacemi v rozsahu 5 hodin souvisle nebo 8 hodin kumulativně v I nebo II+ zóně. Dále je léčba indikována u rizikového předprahového stadia (ROP v zóně I a ROP v zóně II+). [1] [2] [3] [4] [5] [6]

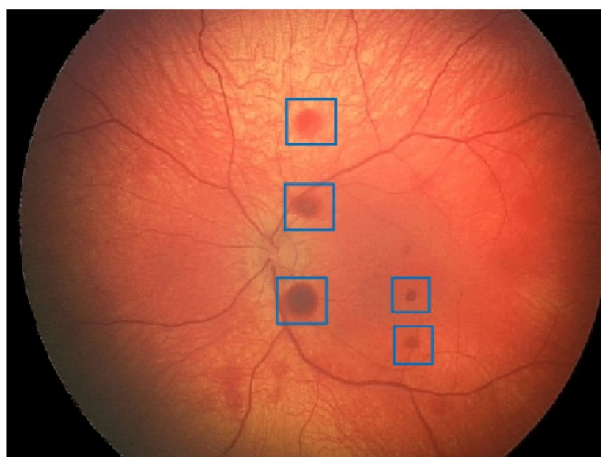
Dříve se k léčbě používala kryokoagulace, v dnešní době je již nahrazena fotokoagulací diodovým laserem, u které je dosaženo lepší ostrosti vidění, a vykazuje i lepší anatomické výsledky a nižší hemoragické komplikace. Fotokoagulací diodovým laserem dochází k ablaci avaskulární periferie sítnice a následně snížení produkce VEGF, což má za výsledek odstranění neovaskularizace. Intravitreální injekce anti-VEGF preparátů se využívá jako doplňková léčba k laseru u pokročilých stádií ROP, urychluje progresi neovaskulárních proliferací a navozuje fyziologický vývoj sítnice. [1] [2] [3] [4] [5] [6]

5 Charakteristika a manifestace retinálních lézí

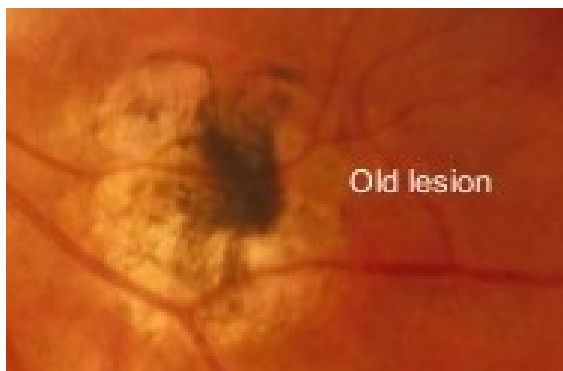
Retinální léze je krvácivá většinou cirkulární skvrna viditelná na sítnici (Obrázek 23). Vyskytují se samostatně nebo ve větším počtu na celé sítnici (Obrázek 24). Tato práce se bude zabývat extrahováním a analýzou retinálních lézí ze snímků pacientů s ROP.



Obrázek 23: Na první fotografii je zobrazen fyziologický snímek sítnice bez patologických změn. Na dalších dvou snímcích jsou již patrné rozsáhlé retinální léze, jedná se o nesespecifické útvary červené barvy.



Obrázek 24: Snímek sítnice v modrých ROI jsou vyznačeny retinální léze.



Obrázek 25: Stará retinální léze.

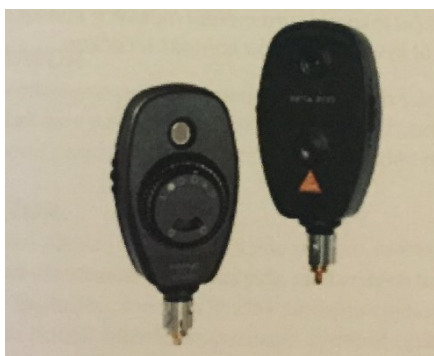
6 Zobrazovací metody v oftalmologii

6.1 Oftalmoskopie

Oftalmoskopie neboli pozorování zadního očního segmentu (sklivec, sítnice, terč zrakového nervu). Princip oftalmoskopie spočívá v osvětlení nitra oka (xenon-halogenovou žárovkou, LED) a pozorováním odražených paprsků. [7] [8]

6.1.1 Přímá oftalmoskopie

Je vyšetření, při kterém jsme schopni zobrazit přibližně 2 mm sítnice pomocí přímého oftalmoskopu, naklápěním oftalmoskopu zachytíme různé oblasti sítnice. Oftalmoskop (Obrázek 26) má zdroj světla a okénko pro pozorování umístěno v jedné rovině. [7] [8]



Obrázek 26: Hlavice přímého oftalmoskopu. [8]

6.1.2 Nepřímá oftalmoskopie

Umožňuje získat obraz sítnice, který je reálný, převrácený a méně zvětšený než u přímé oftalmoskopie. Díky použití čočky (sférická spojka) je zobrazena větší část sítnice (Obrázek 27). [7] [8]



Obrázek 27: Binokulární indirektní nepřímá oftalmoskop. [8]

6.2 Ultrasonografie

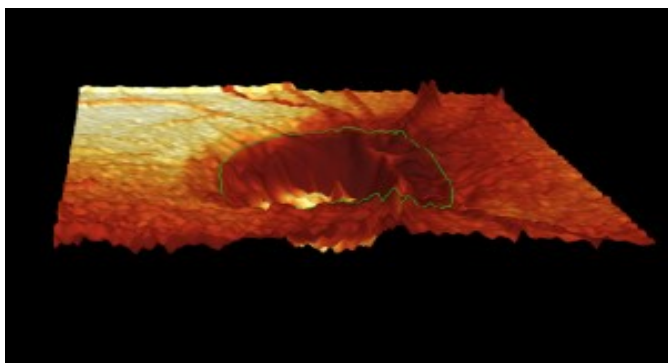
Je užitečná pro zobrazení opticky nedostupných tkání (neprůhledný přední segment), tkáně očníce a struktury uvnitř stěny bulbu. Dále se používá pro měření délky bulbu a tloušťky rohovky. Využívají se frekvence UZV v rozmezí 8–12 MHz, při vyšetření zadního segmentu je potřeba průniku ultrazvuku do cca 40 mm. [7] [8]

6.3 Perimetrie

Je vyšetření zorného pole oka. Ostrost vidění je vázána na žlutou skvrnu v sítnici, v periferii je ostrost vidění menší. Pacient fixuje vyšetřovaným okem jeden fixní bod, v periferii se mu promítají další body, které musí zaznamenat. [7] [8]

6.4 Heidelbergský retinální tomograf (HRT)

Laserový paprsek bod po bodu skenuje zadní segment oka (vyšle paprsek a detekuje se množství světla odraženého od daného bodu), každý sejmutý bod a jeho signál je poté vyhodnocen detektorem, následně systém pomocí speciálních algoritmů (které jsou schopny korigovat pohyb oka) vytvoří trojrozměrný snímek z jednotlivých 2D řezů zadního segmentu oka. Využití je u hodnocení terče zrakového nervu při přítomnosti glaukomu a pro měření tloušťky sítnice při toku makuly (Obrázek 28). [7] [8]



Obrázek 28: 3D snímek retiny z HRT. [8] (vlevo) HRT. [8] (vpravo)

6.5 Skenovací laserová polarimetrie (GDX)

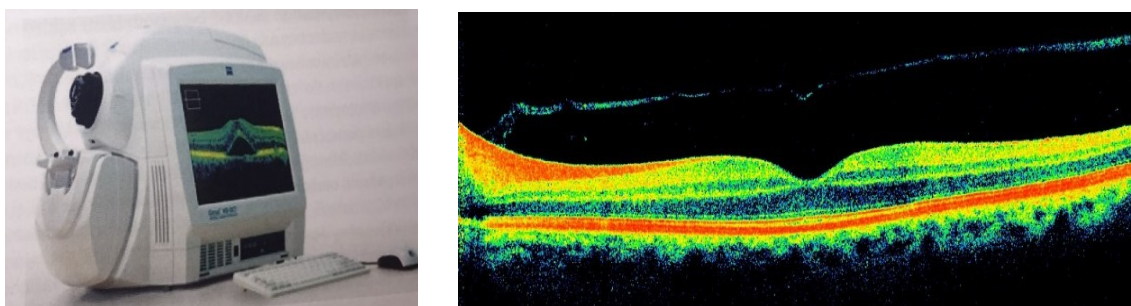
Využívá se zejména pro zobrazení a analýzu vrstvy nervových vláken sítnice. Při porušení nervové vrstvy (glaukom) je následek například snížení tloušťky. Pracuje na principu měření zpomalení (retardace) paprsků (780 nm infračervené záření) odražených od nervové vrstvy. Zpomalení závisí na tloušťce vrstvy (Obrázek 29). [7] [8]



Obrázek 29: GDX. [8]

6.6 Optická koherentní tomografie (OCT)

Výsledkem tohoto vyšetření je dvourozměrný optický řez sítnicí. Přístroj (Obrázek 30) pracuje na principu interferometru, měří časový rozdíl v odrazu paprsku (různé vlnové délky pro zobrazení daných částí sítnice 850-1550 nm) od jednotlivých vrstev sítnice (každá vrstva sítnice má jinou reflektivitu) a paprsku referenčního odraženého od pomocného zrcátka. Podobně jako ultrazvuk zobrazuje akustický řez bulbem. Dnes se již používá třetí generace těchto přístrojů, pracujících na vysokorychlostním rozlišení (frequency-domain (FD-OCT)), detekují interferenci jednotlivých spektrálních složek nízkokoherenčního světla. Spektrum je zaznamenáváno pomocí CCD, CMOS nebo řadou fotodiod. Dráhové rozdíly od struktur a referenčního zrcadla vytvoří periodické změny ve spektru. [7] [8]



Obrázek 30: Snímek z OCZ. [8] (vlevo) OCT. [8] (vpravo)

6.7 Analýza tloušťky sítnice (RTA)

Skenovací zařízení RTA pro měření tloušťky sítnice a její topografii. Do levé části sítnice je vyslán proužkový, zelený, laserový paprsek a jeho odraz je snímán v pravé části sítnice, podobně, jak je tomu i u šterbinové lampy. Tloušťka odraženého proužku odpovídá tloušťce sítnice. [7] [8]

6.8 Elektroretinograf (ERG)

Snímání elektrických signálů z nervových buněk sítnice. Elektrické signály se měří pomocí správně umístěných elektrod při světelných podnětech. [7] [8]

6.9 Funduskamera

Fundus kamera (Obrázek 31) je zařízení, které nám umožňuje fotodokumentaci sítnice. Jak již název napovídá, lze zobrazit strukturu fundu, své uplatnění fundus kamera našla při detekci morfologických změn u různých onemocnění sítnice (věkem podmíněná makulární degenerace, glaukom, diabetická retinopatie, ROP). Fundus kamera pracuje na podobném principu jako nepřímá oftalmoskopie, fundus je ozařován světlem (halogenové – mydratické, infračervené světlo – nemydratické). Čočka objektivu vytvoří skutečný obraz osvětleného fundu v rovině otvoru objektivu. Druhý obraz zprostředkovaný hlavní čočkou objektivu se vytvoří za zrcadlem, jeví se v nekonečnu. Díky tomuto systému lze dosáhnout vysokého rozlišení obrazu. Zorné pole fundus kamery je 20-50 stupňů. Pokud se pacient dívá i do jiných směrů, lze zobrazit i periferii sítnice cca 100stupňů. Celkové zvětšení 10x-30x. Kamera poté pracuje v několika různých režimech: [7] [8]

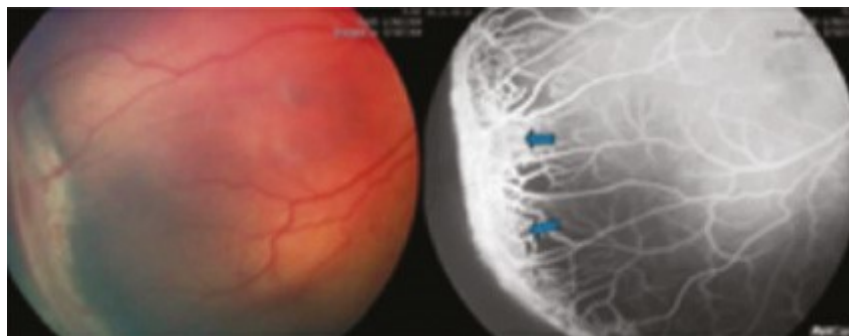
- **Monochromatické zobrazení** – pomocí různých velikostí vlnové délky dokážeme zobrazit různé vrstvy (modré světlo – nervová vlákna, červený filtr – cévnatka). Zelený filtr se používá pro zobrazení cév, jelikož zelené světlo je pohlcováno hemoglobinem.
- **Fluorescenční angiografie** – pro zobrazení cév sítnice a cévnatky, detekce průtoku v cévách. Intravenózně je aplikováno fluorescenční barvivo, toto barvivo je excitováno monochromatickým světlem, typický je poté černobílý snímek, kde projasněná místa znamenají přítomnost této látky. Fluorescence vysoká – průsak cév, defekty pigmentového epitelu a edém. Fluorescence slabá – okluze cévy.
- **Autofluorescence fundu** – zobrazení až na buněčné úrovni. Změny pigmentového epitelu sítnice pomocí autofluorescence lipofuscinu.
- **Stereo zobrazení** – fundus a papila zrakového nervu.
- **Modul širokého zorného pole** – jednotlivé snímky jsou pomocí algoritmu spojeny a dostáváme zobrazení velké části zadního segmentu. [7] [8]



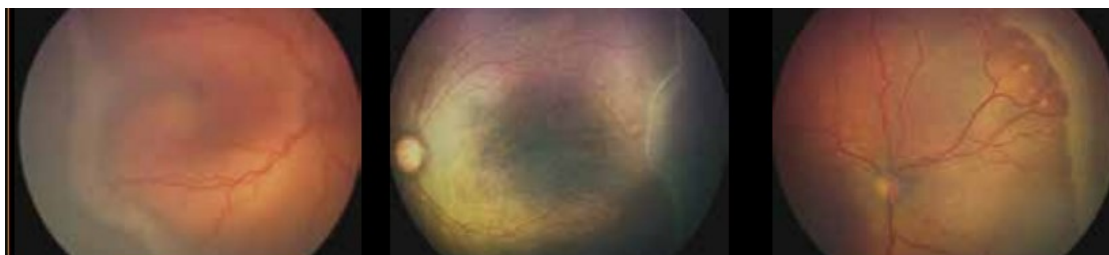
Obrázek 31: Fundus kamera. [8] (vlevo) Snímek z funduskamery. Na obrázku je retina pacienta s diabetickou retinopatií. [8] (vpravo)

6.10 RetCam

RetCam (Obrázek 34) je plně integrovaný, širokoúhlý, digitální zobrazovací systém. Kamera zobrazuje sítnici v reálné nepřevrácené podobě, je možné pořízení videozáznamu až 2 min. a uchování dat v digitální podobě (DICOM). Dlouhá léta byla ROP vyšetřována pomocí nepřímé binokulární oftalmoskopie (BNO), studie však opakovaně prokázali, že vyšetření pomocí RetCam je přesnější. Při analýze 202 subjektů byly patologické změny prokázány u 20 subjektů bez použití RetCam a u 70 subjektů s použitím RetCam. RetCam se stalo novým zlatým standardem pro léčbu ROP (Obrázek 33). Umožňuje srovnání snímků v čase, které je důležité pro posouzení účinků léčby. RetCam poskytuje úplné zobrazení až 130 stupňů. BNO pouze 30 stupňů. Pomocí RetCam je možné provést i fluorescenční angiografii (FA) (Obrázek 32) pro ostré zobrazení vaskulárních anomálií, které jsou důležité pro další diagnostiku a slouží jako důležitý chirurgický plánovací nástroj. [9]



Obrázek 32: Modré šipky ukazují oblasti, kde FA poskytuje vizualizaci cév pacienta ROP, které nejsou na barevné fotografii patrné. [9]



Obrázek 33: Zobrazení ROP pomocí RetCam. [9]



Obrázek 34: RetCam. 1) velká pracovní plocha, 2) klávesnice, 3) držák šňůry, 4) úložné zásuvky, 5) display, 6) ergonomicky ruční díl, 7) modul fluorescenční angiografie, 8) foto a tiskárna, 9) nožní ovládání. [9]

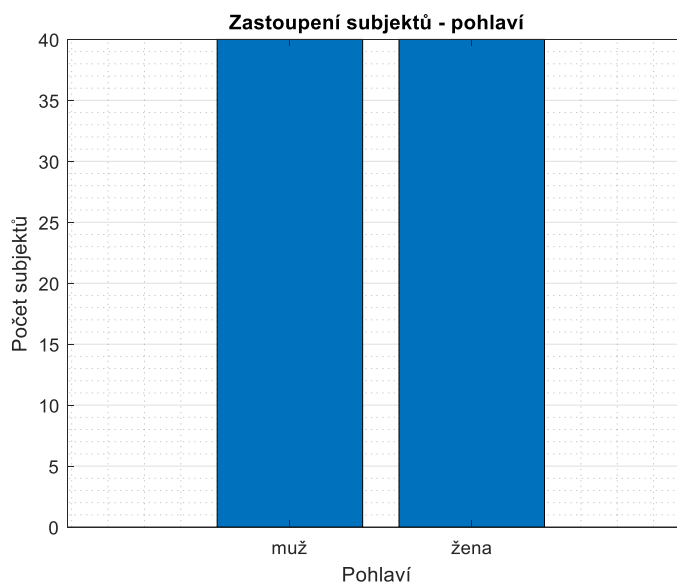
6.10.1 Technické parametry

Tabulka 2 Technické parametry RetCam. [9]

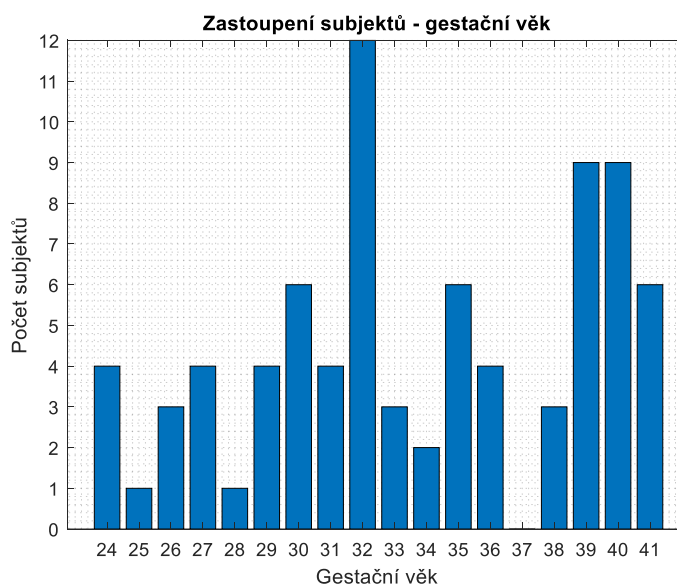
Počítač	
Operační systém	Windows 7
Procesor	Pentium Dual Core 2.4 GHz
Konektory	LAN, multi USB
Pevný disk	1 TB
Systémová paměť	4 GB
Grafická karta	
Monitor	21'' x 23''
Pracovní deska	41''
Pracovní plocha	230 čtverečních palců
Napájení	baterie napájecí kabel
Tiskárna	klasická kombinovaná s fototiskárnou
Baterie	záložní baterie umožňující provoz 15 min
Přídavné moduly	FA

7 Analýza klinických retinálních dat

Databáze snímků sítnice novorozenců z oftalmologického přístroje RetCam poskytnutá Centrem pro děti s vadami zraku Oční kliniky Fakultní nemocnice Ostrava. Obsahuje 80 subjektů, 40 žen a 40 mužů (Obrázek 35). Vždy byla provedena minimálně jedna série snímků, nejvíc bylo provedeno 16 sérií (Tabulka 3). Jednotlivé série byly provedeny v různém časovém rozmezí. Velikost snímků je 640x480 pixelů. Kvalita snímků je proměnlivá, závisí na lékaři, který snímání provádí.

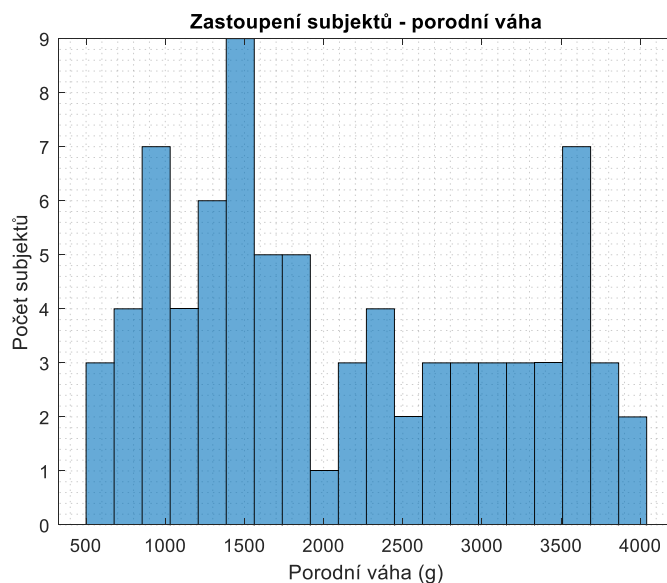


Obrázek 35: Grafické znázornění zastoupení subjektů dle pohlaví.



Obrázek 36: Grafické znázornění zastoupení subjektů dle gestačního věku.

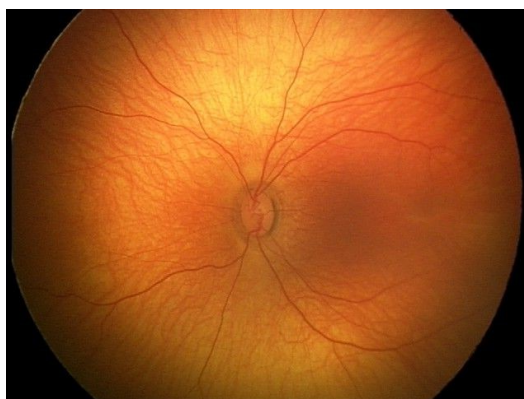
Gestační věk (délka těhotenství o prvního dne poslední menstruace matky) při narození dítěte se pohybuje v rozmezí od 24 týdnů do 41 týdnů (Obrázek 36). V databázi je nejvíce narození v 32. gestačním věku.



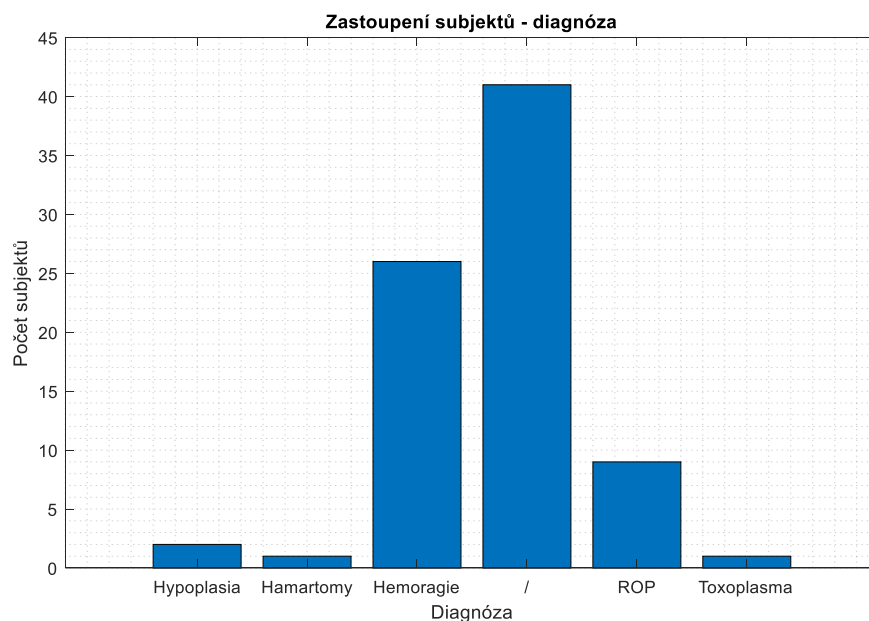
Obrázek 37: Histogram porodní váhy subjektů.

Porodní váha subjektů se pohybovala v rozmezí od 540 g do 4040 g. Z grafu (Obrázek 35. je patrné, že v databázi je zastoupeno více subjektů s nižší porodní váhou. ROP se vyskytuje především u předčasně narozených dětí s nízkou porodní váhou.

V databázi se vyskytuje 5 různých diagnóz (hypoplazie makuly, hemartomy, hemoragie, ROP, toxoplasma) a subjekty bez diagnózy (/) (Obrázek 37). Nejvíce je subjektů bez diagnózy. Následují subjekty s hemoragií a poté subjekty s ROP, kterou se budeme dále zabývat (Obrázek 35).



Obrázek 38: Fyziologický obrázek sítnice z RetCamu.

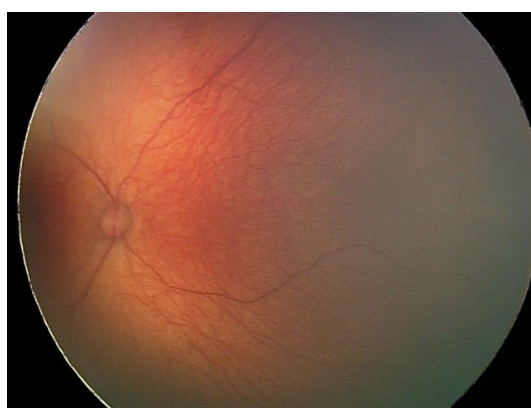


Obrázek 39: Grafické znázornění zastoupení jednotlivých diagnóz.

Tabulka 3 Počet snímků.

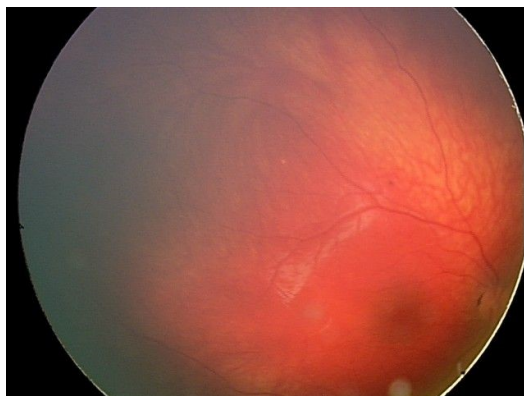
Diagnóza	Počet
ROP	1100
Fyziologický snímek	622
Ostatní diagnózy	1062
Celkem	2794

Hypoplazie makuly – na snímku je patrná velmi chudá perifoveální kapilární síť (Obrázek 40).



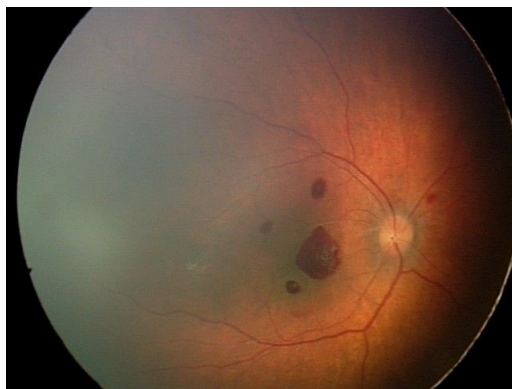
Obrázek 40: Hypoplazie makuly.

Hamartom je ložisko normální tkáně, která se však nachází na místech, kde se za normálních podmínek nenachází (Obrázek 41).



Obrázek 41: Hamartomy.

Hemoragie – krvácení. Může mít příčinu v poškození nebo v porušení funkce krevních cév. Na snímcích jsou jasně patrná krvácející ložiska (Obrázek 42).



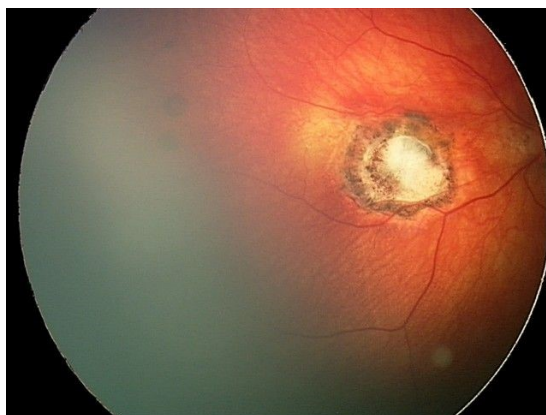
Obrázek 42: Hemoragie.

ROP – vazoproliferativní onemocnění sítnice. Nedochází ke správnému vývoji cév sítnice. Na snímcích jsou patrné retinální léze (Obrázek 43).



Obrázek 43: ROP

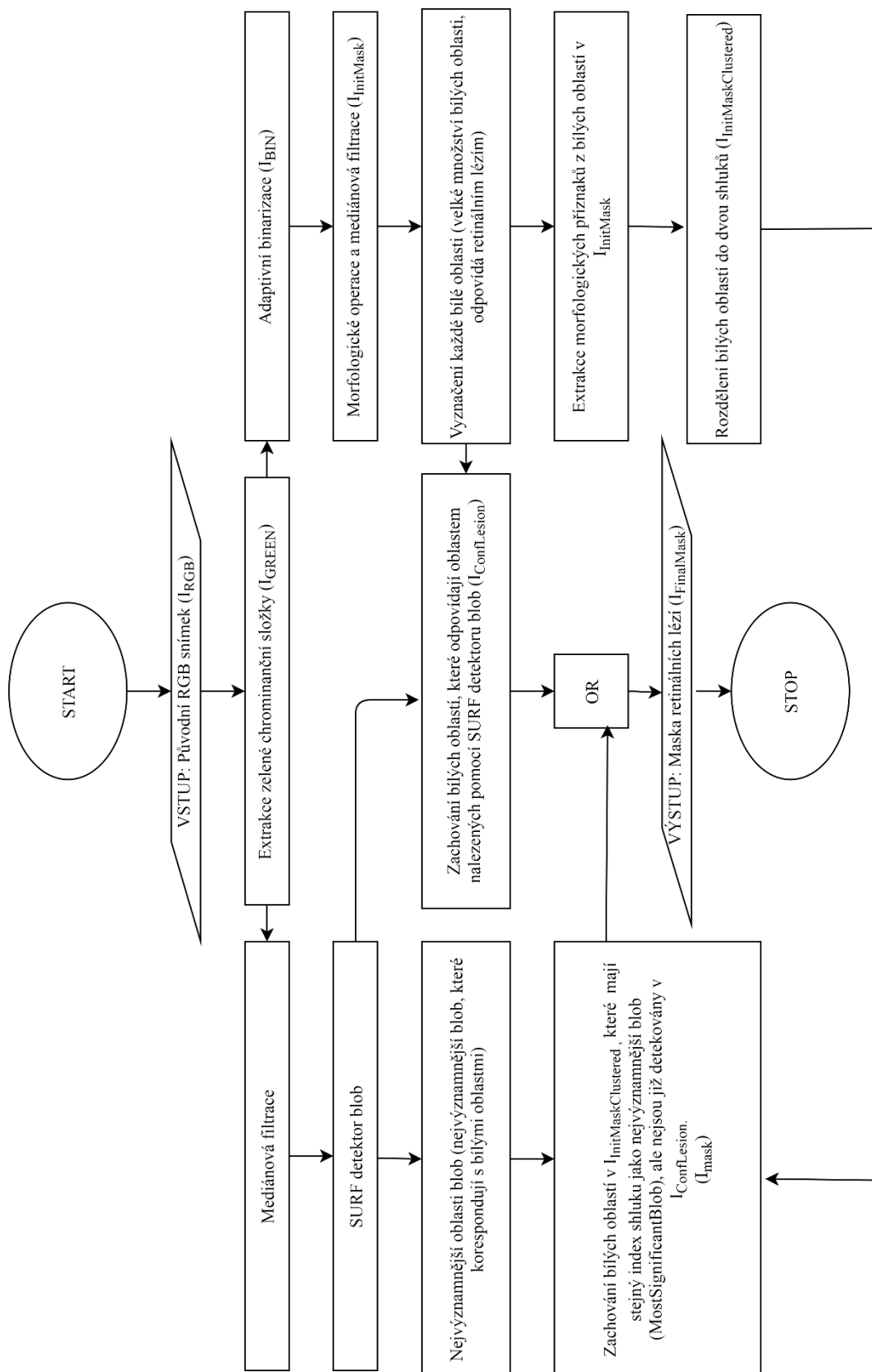
Oční toxoplazmóza – způsoben parazitem *Toxoplasma* (prvok). Projevuje se zánětem sítnice, na snímcích jsou patrné oválné žluté léze (Obrázek 44).



Obrázek 44: Oční toxoplazmóza.

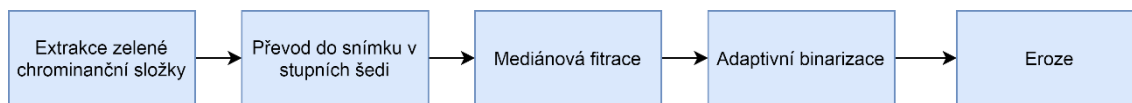
8 Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

V klinické praxi představují retinální léze významný patologický problém. Tato diplomová práce je zaměřena na retinální léze při ROP. V dnešní době bohužel konvenční zobrazovací systémy, včetně snímků z RetCam, na které se tato práce zaměřuje, zobrazují pouze základní vizualizační funkce pro zpracování obrazu sítnice. Proto se všechna klinická hodnocení například i již zmíněných retinálních lézí provádějí za pomoci lékaře, který ručně vyznačí retinální léze, výsledky jsou proto zatíženy subjektivní chybou lékaře. Nejnovější trendy v klinické oftalmologii se zabývají automatickými metodami pro extrakci patologických příznaků. Automatické metody přinášejí mnohem přesnější výsledky v porovnání se subjektivní extrakcí patologických příznaků. Navrhovaná metoda umožňuje automatickou segmentaci a klasifikaci retinálních lézí ze snímků z RetCam. Skládá se z následujících kroků (Obrázek 45), předzpracování snímku z RetCam3, adaptivní binarizace a morfologických operací, blob detekce pomocí extrakce SURF příznaků (speed up robust features – urychlení robustní funkce), semi supervizorní klasifikace pro rozpoznání a identifikaci retinálních lézí. Extrahované retinální léze jsou poté diferencovány a velikostně porovnány vůči optickému disku.



Obrázek 45: Vývojový diagram algoritmu pro segmentaci retinálních lézí

8.1 Předzpracování obrazu



Obrázek 46: Vývojová diagram předzpracování obrazu.

Před aplikací dalších algoritmů jsou původní snímky z RetCam3 nejprve předzpracovány (Obrázek 46). Vstupní snímky představují datové pole o rozměrech $M \times N \times 3$. Jedná se o tři stejně velké matice reprezentující jednotlivé komponenty (kanály, složky) RGB obrazu (R – červená chrominanční složka, G – zelená chrominanční složka, B – modrá chrominanční složka). Každý kanál má svou matici a složením těchto matic přes sebe, vznikne výsledný obraz. Pomocí algoritmu je nejprve extrahována zelená chrominanční složka RGB snímku (Obrázek 47). Zelená chrominanční složka nejlépe zvýrazňuje retinální léze a celé retinální krevní řečiště. Lidské oko je nejcitlivější právě na elektromagnetické záření vlnové délky 550 nm, které odpovídá zelené barvě, jedná se o výsledek evoluce, na Zemi je nejvíce zastoupena zelená barva díky chlorofylu v rostlinách. Z toho důvodu je ve snímačích obrazu, které nahrazují naše oko, dvakrát více zelených pixelů, než červených nebo modrých. Zelená chrominanční složka má obvykle také největší množství typického zdroje světla podobného slunečnímu záření. Z těchto důvodů bude mít zelená chrominanční složka nejmenší šum, a tedy i nejlepší rozlišení detailů scény, což je pro další zpracování obrazu důležité. [11]



Obrázek 47: Jednotlivé chrominanční složky.

8.2 Adaptivní binarizace a morfologické operace

Po předzpracování snímku je získána zelená chrominanční složka, která je reprezentována maticí jednotlivých intenzit zelené barvy původního snímku, ta je převedena do snímku ve stupních šedi, kde každý pixel představuje intenzitu jasu v rozsahu 0-255 od nejtmaší černé barvy (v matici reprezentována hodnotou 0), po nejsvětější bílou barvu (v matici reprezentována hodnotou 255). Oblasti, kde se nachází retinální léze, jsou oproti pozadí tmavší, algoritmus se v první fázi snaží tyto tmavší oblasti identifikovat. Nejjednodušší způsob, jak identifikovat tyto tmavší oblasti, je převod snímku ve stupních šedi do binární podoby, pokud je hodnota větší než daná hranice, pixel bude bílý (1) tzv. popředí. Pokud je hodnota menší, pixel bude černý (0) tzv. pozadí (8.1).

$$f(i,j) = 1 \text{ pokud } g(i,j) \geq T \quad (8.1)$$
$$0 \text{ jinak}$$

Jelikož snímek obsahuje velké množství různých intenzit jasu, je obtížné zvolit pevný práh pro binarizaci obrazu. Proto bylo využito lokálně-adaptivní prahování při binarizaci. Rozdíl mezi

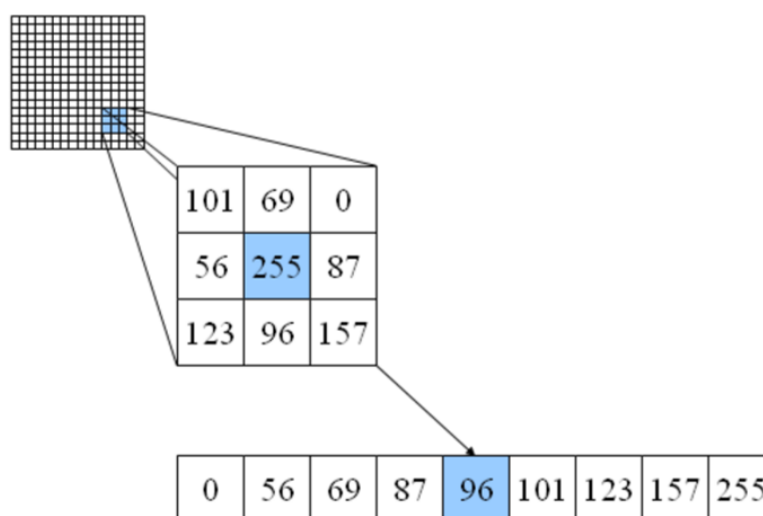
Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

prahováním s pevným prahem a lokálně-adaptivním je ten, že u lokálně-adaptivního prahování se hodnota prahu v různých částech obrazu liší, je funkcí lokálních parametrů obrazu. Obraz je rozdělen na několik částí a pro každou z nich je nalezen daný práh. Pro binarizace s lokálně-adaptivním prahem byla zvolena funkce v programu MATLAB 'adaptthresh()'. Jednotlivé argumenty 'adaptthresh' funkce byly nastaveny následovně. 'ForegroundPolarity' argument určuje, které pixely reprezentují popředí, hodnota 'bright' popředí je jasnější než pozadí, hodnota 'dark' popředí je tmavší než pozadí. Retinální léze jsou reprezentovány tmavšími místy v obraze, proto bylo zvoleno nastavení argumentu na hodnotu 'dark'. Argument 'Statistic' pro výběr statistické metody pro výpočet lokálního prahu v dané oblasti. Hodnota byla nastavena na 'median', která je statisticky robustnější, oproti nastavení 'mean'. Prah pro každý pixel bude vypočten jako medián jeho okolí. Argument 'NeighborhoodSize' velikost sousedství (okolí) pro statistický výpočet lokálního prahu se vypočte pomocí rovnice (8.2) zobrazené níže. [11, 12, 15]

$$Neighborhood\ Size = 2 * floor\left(\frac{size(I)}{16}\right) + 1 \quad (8.2)$$

I představuje předzpracovaný původní snímek ve stupních šedi. Funkce 'floor' přiřazuje reálnému číslu blízké celé číslo, v tomto případě nejbližší celé menší číslo. Pomocí lokálně-adaptivního prahování je snímek převeden na binární obraz, pozadí je černé a důležité manifestace v obraze bílé. V binární podobě bílé pixely nepředstavují pouze retinální léze, ale bohužel i cévní řečiště. Proto jsou na binární snímek aplikovány posléze morfologické operace (mediánová filtrace, vyplňování děr, eroze se čtvercovým strukturním prvkem), aby bylo cévní řečiště potlačeno. Po aplikaci morfologických operací je vytvořena maska, ve které bílé skvrny s největší pravděpodobností manifestují oblasti retinálních lézí. [15]

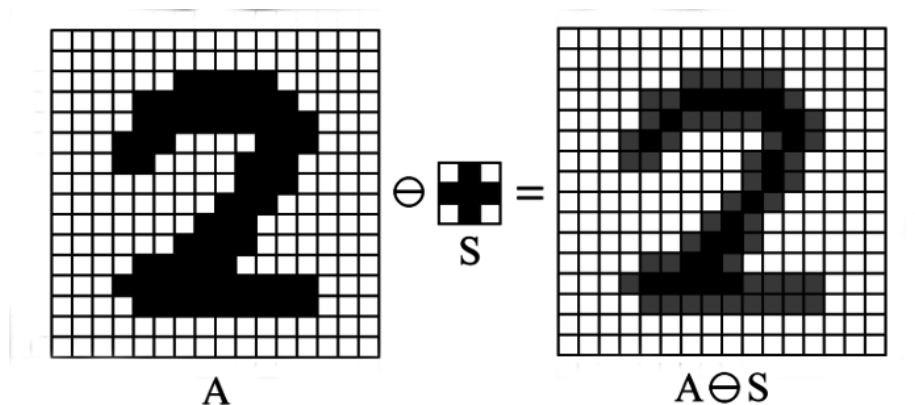
Mediánový filtr je užitečný při odstranění šumu a vyhlazení obrazu. Důležité je nastavení velikosti okna mediánového filtru, volí se lichý počet prvků. Dané filtrační okno se aplikuje na jednotlivé pixely a mediánový filtr vybere a podle intenzity seřadí obrazové body ve filtračním okně, a středový bod v okně nahradí hodnotou, která je právě uprostřed seřazené posloupnosti intenzit obrazových bodů aplikovaného filtračního okna (Obrázek 48). [14]



Obrázek 48: Princip mediánové filtrace. [14]

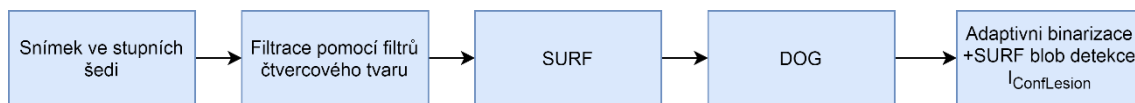
Eroze (Obrázek 49) je morfologická operace představující relaci obrazů, kde snímek představuje množinu X a strukturní element množinu B . Strukturní element se pohybuje po obraze X a porovnává se, jak daný element, reprezentující předem zvolený tvar, zapadá nebo chybí tvarům v obraze. Je předpokládáno, že počátek B je ve středu, každý pixel v X je překryt počátkem B , pokud je B zcela obsažen v X , je zachován jinak odstraněn. To znamená, že pokud je B zcela obsaženo uvnitř X , zůstanou hodnoty obrazových bodů zachovány, jinak dojde k jejich odstranění nebo erodování. Eroze skládá dvě bodové množiny X a B s využitím vektorového rozdílu (8.3). Využívá se pro zjednodušení struktury objektu.

$$X \ominus B = \{d \in E^2: d + b \in X \text{ pro } \forall b \in B\} \quad X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_{-b} \quad (8.3)$$



Obrázek 49: Eroze snímku A strukturním elementem S . Vpravo výsledný snímek po aplikaci morfologické operace eroze. [15]

8.3 Blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků



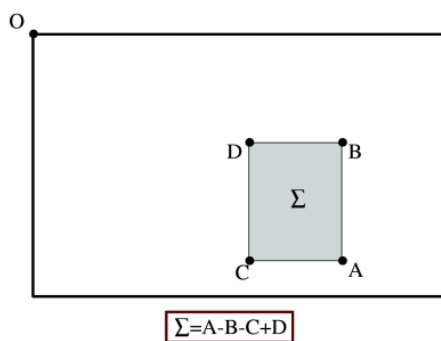
Obrázek 50: Vývojový diagram blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků.

Počítačové vidění má za cíl napodobení lidského zraku, automatickou extrakci, analýzu a porozumění obrazů. Zahrnuje několik kroků – klasifikace objektů na základě shody mezi příznaky objektů a příznaky v obraze, identifikace jednotlivých instancí v obraze a následná detekce. V počítačovém vidění je SURF (speeded up robust features – urychlení robustní funkce) detektorem a deskriptorem prvků obrazu. V tomto algoritmu je SURF využito k primární detekci blob. Algoritmus funkce extrakce SURF příznaků zahrnuje tři hlavní kroky – detekci, deskriptor, porovnání (Obrázek 50). [13]

Prvním krokem detekce je filtrace pomocí filtrů čtvercového tvaru, pracujících na principu konvoluce obrazu se čtvercovým filtračním jádrem. Úkolem filtrace je vyhlazení obrazu podobné Gaussovu vyhlazení. Jsou použity čtvercové filtry různých velikostí k vytvoření vrstev zvětšováním filtračního okna. Urychlení filtrace je provedeno pomocí integrálního obrazu (Obrázek 51). V pravém spodním rohu, je vždy součet uvnitř obdélníkové oblasti (8.4). [16]

$$I_{\Sigma}(x) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(x, y) \quad (8.4)$$

$I(i, j)$ představuje vstupní obraz.



Obrázek 51: Výpočet plochy vymezené vrcholy A, B, C, D v integrálním obraze. [16]

Detektor blob s použitím extrakce SURF příznaků využívá Hessovu matici (8.5) k nalezení oblastí zájmu. Jedná se o čtvercovou matici druhých parciálních derivací skalární funkce. Determinant Hessovy matice určuje velikost změny v okolí bodu. Body, kde je determinant maximální, jsou vybrány jako oblasti zájmu. [16]

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (8.5)$$

Deskriptor poskytuje jedinečný a robustní popis obrazového prvku. Porovnáním deskriptorů získaných z různých obrazů (obrazy získané pomocí filtrace čtvercovým filtrem) lze nalézt odpovídající páry. SURF algoritmus je v tomto případě proveden pomocí funkce

Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

'detectSURFFeatures()' v MATLABU, argument 'MetricThreshold' nejsilnější práh funkce je nastaven na hodnotu 500, 'NumOctavec' neboli počet oktáv, každá oktáva zahrnuje několik měřítek, které jsou analyzovány pomocí filtrů s různou velikostí, argument 'NumOctaves' musí odpovídat velikosti snímku v našem případě je nastaven na hodnotu 4. Při větším počtu oktáv je nalezeno více blobs větší velikosti. Argument 'NumScaleLevels' udává počet filtrů použitých na oktávu, v našem případě je hodnota 4. Při vyšší hodnotě je nalezeno více menších blobs. [16]

Blob detekce detekuje oblasti s různými vlastnostmi. Například rozdílná barva, jas. Blob detekce funguje na principu vyhledávání rozdílných vlastností pixelů v okolí a následně tyto rozdílné vlastnosti vyhledává i ve snímku s jiným měřítkem rozmazání. Metoda je založena na aproximaci Laplacianu Gaussianu (LoG) (8.6) pomocí rozdílu Gaussiánů (DoG). [16]

Laplacián obrazové funkce,

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (8.6)$$

Laplaceův operátor je bohužel velmi citlivý na šum, proto se používá napřed vyhlazení obrazu pomocí Gaussiánu. Maximum první parciální derivace jasové obrazové funkce odpovídá průchodu nulou při druhé parciální derivaci, Laplaceův operátor tyto průchodu nulou detekuje. Tento postup rozmazání pomocí Gaussiánu (8.7) a vyhledání průchodu nulou u druhé derivace pomocí Laplaceova operátoru se nazývá LoG. [16]

Rozmazání obrazu metodou Gaussian. Gaussova funkce:

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8.7)$$

kde σ označuje směrodatnou odchylku Gaussova rozdělení. K rozmazání původního snímku dojde pomocí konvoluce (8.8) konvoluční matice s maticí původního obrazu.

$$L(x, y, t) = g(x, y, t) * f(x, y) \quad (8.8)$$

Konvoluční matice je konstruována dle středu, x představuje počet řádků od středového pixelu a y počet sloupců napravo od středového pixelu se souřadnicemi (0,0). σ udává vliv okolních pixelů, čím větší je hodnota σ , tím větší je rozmazání, σ udává, kolik okolních pixelů má být použito k rozmazání středového. S rostoucí vzdáleností pixelů od středového pixelu klesá jejich vliv, je to způsobeno tvarem křivky Gaussova rozdělení. Filtrace pomocí Gaussovy funkce je provedena v několika měřících, tím získáme sadu snímků s různým rozmazáním. Tyto dvě operace (Gaussova filtrace a Laplaceův operátor) mohou být spojeny konvolucí rovnou na LoG dle vzorce (8.9). [17]

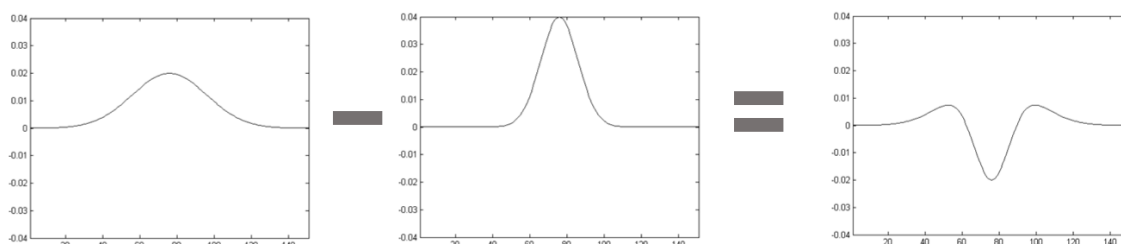
$$LoG_{(x,y)} = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{x^2 - y^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2 - y^2}{2\sigma^2}} \quad (8.9)$$

Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

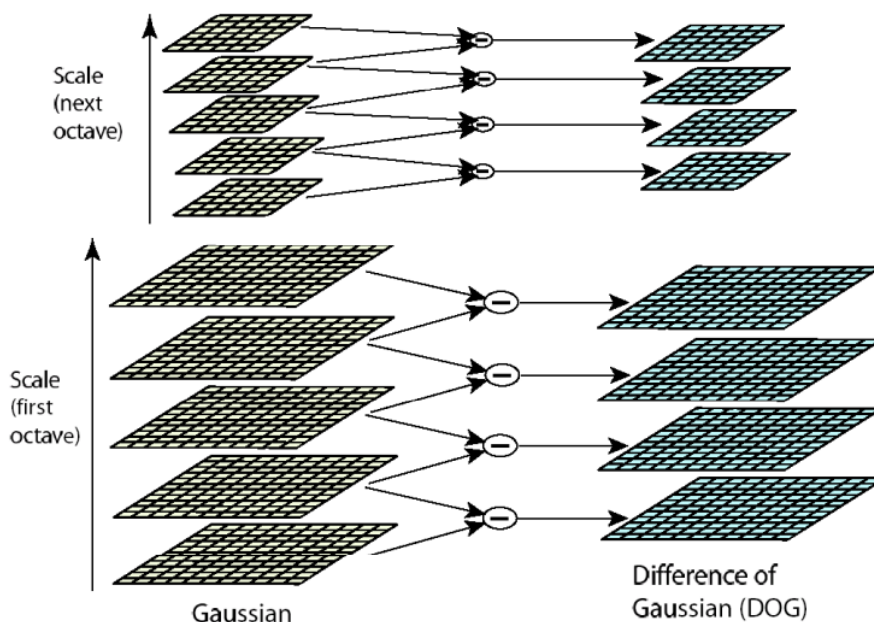
LoG lze vypočítat i jako rozdíl mezi dvěma Gaussovskými vyhlazeními s rozdílným měřítkem (Obrázek 52). Tento postup je nazýván DoG (Difference of Gaussians – rozdíl Gausiánů) (8.11). DoG vzniká aproximací LoG (8.10), pomocí difference dvou obrazů (Obrázek 52) vzniklých konvolucí s Gaussovským vyhlazením o různém σ . [17]

$$L = \sigma^2 \left(G_{xx}(x, y, \sigma) + G_{yy}(x, y, \sigma) \right) \text{ Laplacian} \quad (8.10)$$

$$DoG = G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma) \text{ rozdíl Gausiánů} \quad (8.11)$$



Obrázek 52: Rozdíl Gausiánů. [18]

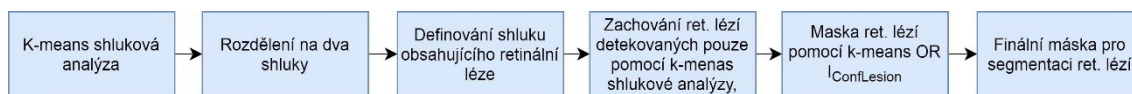


Obrázek 53: Neškálovány původní obraz pomocí Gaussovského vyhlazení o různém σ . A následný rozdíl těchto Gausiánů. [19]

Blob detektor detekuje světlé i tmavé blobs, proto je nutná další filtrace. Porovnává se výsledek z adaptivní binarizace, kde jsou retinální léze zobrazeny bíle (I_{InitMask}), s výstupem z blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků, následně je vytvořen nový binární snímek, kde jsou zachovány pouze ty blobs, které byly detekovány pomocí adaptivní binarizace a blob detekce s použitím SURF zároveň. Jedná se o bílé blobs, které představují retinální léze, detekované oběma algoritmy maska ($I_{\text{ConfLesion}}$).

Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

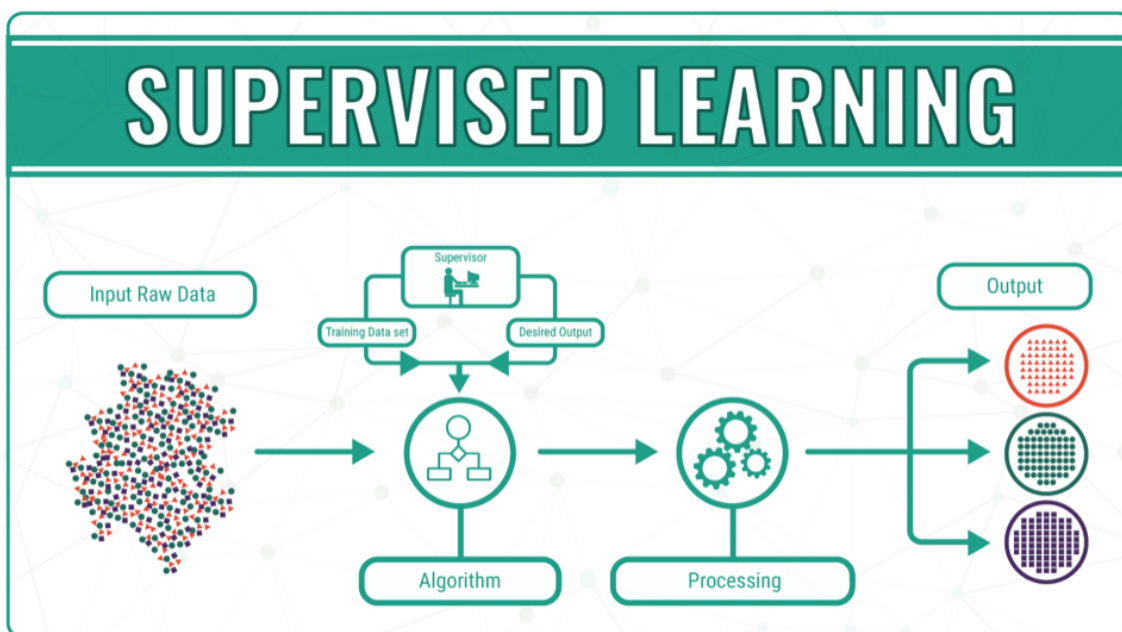
8.4 Semi supervizorní klasifikace k detekci nejednoznačných oblastí s retinálními lézemi



Obrázek 54: Vývojový diagram semi supervizorní klasifikace.

Strojové učení je jeden z podoborů umělé inteligence. Cílem strojového učení je vývoj algoritmů pro systémy, které získávají schopnost učit se. Strojové učení můžeme rozdělit na:

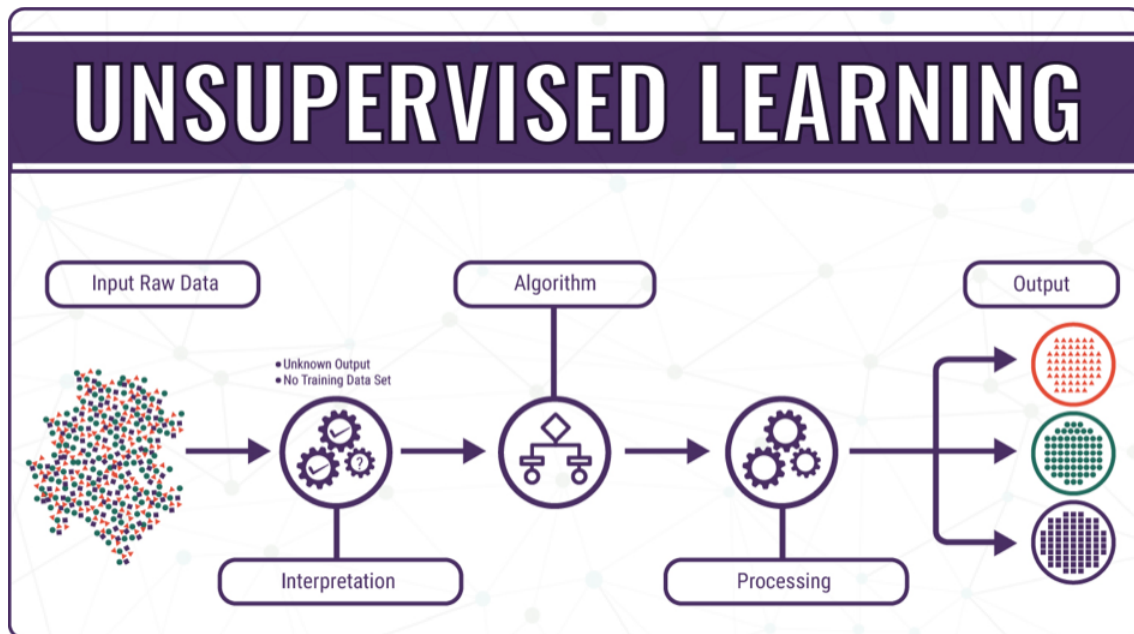
- **Supervizorní učení** – je založeno na apriorní informaci, která představuje expertně vyhodnocenou dvojici vstup X a výstup Y . Dvojice vstupů a výstupů představuje trénovací množinu. Pomocí trénovací množiny je provedena první fáze, fáze učení. Cílem je najít funkci f , kde $Y=f(X)$ a která zároveň dokáže dobře předpovědět výstupní veličinu Y i na nové vstupní množině dat. Známé korektní výstupy Y a algoritmus koriguje výstupy na trénovací množině, algoritmus funguje jako učitel, proto se tento způsob nazývá také učení s učitelem (Obrázek 55). Následuje fáze verifikace, kdy systém třídí sám nová data. [20, 21]



Obrázek 55: Strojové učení s učitelem. [22]

Design segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

- **Nesupervizorní učení**– probíhá bez trénovací množiny, systém obdrží množinu vstupních dat a sám se snaží pochopit strukturu dané množiny a najít neznámé vzorce v datech vstupní množiny. Na základ získaných informací najde korektní funkci, která převede vstupní data na výstupní (Obrázek 56). [20, 21]

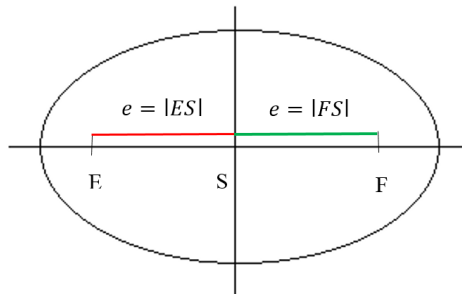


Obrázek 56: Strojové učení bez učitele.[22]

- **Semi supervizorní učení** – je definována velká množina vstupních dat X , ale pouze některá z nich mají definovaný i výstup Y . Tento problém se řeší kombinací učení s učitelem a bez učitele. Algoritmus nejprve využije učení bez učitele ke kategorizaci dat do skupin, dle podobných vlastností a poté využije učení s učitelem k definování výstupu pro ta vstupní data, která nemají výstup definován. Jsou definovány tři předpoklady, předpoklad kontinuity (data, která jsou si blíže než ostatní, mají s větší pravděpodobností stejný výstup), shlukování (data ve stejném shluku, mají s větší pravděpodobností stejný výstup), variety (data se nacházejí v mnohem menším prostoru, než je definovaný celý vstupní prostor). [20, 21]

Nejednoznačné oblasti ($I_{\text{Ambiguous}}$), které vznikly jako rozdíl mezi binárním snímkem po adaptivní binarizaci (I_{InitMask}) a mezi výstupem po blob detekci s použitím extrakce SURF příznaků ($I_{\text{ConflLesion}}$), obsahují oblasti, které jsou retinální léze, ale nachází se zde i oblasti, které retinální léze nejsou. Proto je provedena filtrace nejednoznačných oblastí pomocí semi supervizorní klasifikace. Nejprve jsou získány morfologické příznaky z masky po adaptivní binarizaci (I_{InitMask}).

Excentricita – excentricita elipsy (Obrázek 57) e je rovna vzdálenosti ohnisek od středu elipsy, tzn. $e = |ES| = |FS|$. V tomto případě se excentricitou rozumí excentricita elipsy, která má stejný druhý moment (rozptyl) jako daný region. [23]



Obrázek 57: Excentricita elipsy.

Ekvivalentní průměr – se rovná průměru kruhu o stejné ploše jako je plocha průmětu nepravidelného útvaru, v tomto případě se jedná o útvary, které by měly značit retinální léze. K výpočtu tohoto příznaku pro každou oblast je využita tato rovnice (8.12). [23]

$$\text{EquivDiameter} = \sqrt{\frac{4 * \text{Area}}{\pi}} \quad (8.12)$$

Solidity – poměr počtu pixelů v oblasti, vůči počtu pixelů v konvexní obálce dané oblasti (8.13). [23]

$$\text{Solidity} = \frac{\text{RegionArea}}{\text{ConvexHullArea}} \quad (8.13)$$

Obvod oblasti – je vypočten jako vzdálenost mezi každou dvojicí pixelů kolem obvodu oblasti. [23]

Kruhovitost – kruhovitost, určuje zaoblenost objektů (8.14). Kruhovitost pro dokonalý kruh je rovna 1. [23]

$$\text{Circularity} = \frac{\text{Perimeter}^2}{4 * \pi * \text{Area}} \quad (8.14)$$

Poměr délky vedlejší osy elipsy k hlavní ose elipsy – délka hlavní i vedlejší osy, které mají stejný druhý středový moment (rozptyl) jako oblast (8.15). [23]

$$\text{Minor to Major Axis Ratio} = \frac{\text{MinorAxisLength}}{\text{MajorAxisLength}} \quad (8.15)$$

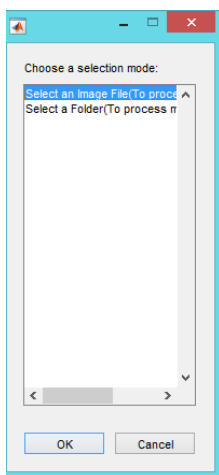
Příznaky popsané výše se používají k rozdělení oblastí do dvou shluků pomocí k-means shlukové analýzy (InitMaskClustered). K-means shluková analýza – objekty se nacházejí v euklidovském prostoru, je dán počet shluků, každý shluk je definován centroidem. Jednotlivé objekty jsou přiřazeny k nejbližším centroidům. Následně jsou přepočítány hodnoty těžiště centroidů a objekty znovu přerozděleny. Takto to se postupuje až do konvergence (stop stav, kdy žádný prvek v předchozím a novém kroku neemigruje).

V masce $I_{\text{InitMaskClustered}}$ jsou vyznačeny dva shluky, avšak není jasné, který shluk odpovídá retinálním lézím, a který chybně detekovaným oblastem. Tento problém se řeší pomocí semi supervizorní klasifikace s on-line učením bez vstupu uživatele. Nejprve jsou definovány nejvýznamnější blob ($\text{MostSignificantBlob}$), které odpovídají zároveň bílým skvrnám v I_{InitMask} a detekovaným blob pomocí blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků. Pokud se nejvýznamnější blob nachází v jednom ze shluků, logicky tento shluk odpovídá retinálním lézím (index $\text{MostSignificantBlob}$) a druhý chybně označeným oblastem. Z $I_{\text{InitMaskClustered}}$ se vytvoří maska I_{Mask} , zachováním pouze těch oblastí, které jsou ve shluku odpovídajícím retinálním lézím (mají index $\text{MostSignificantBlob}$), ale nejsou detekovány pomocí blob detekce ($I_{\text{ConfLesion}}$). Následně je provedena logická operace nebo (OR) mezi výstupem ze SURF detektoru blob $I_{\text{ConfLesion}}$ a I_{Mask} (oblasti, které nebyly detekovány pomocí SURF detektoru blob, ale byly detekovány pomocí K-means shlukové analýzy) a vzniká finální maska $I_{\text{FinalMask}}$, kterou lze použít k segmentaci retinálních lézí ze snímků sítnice.

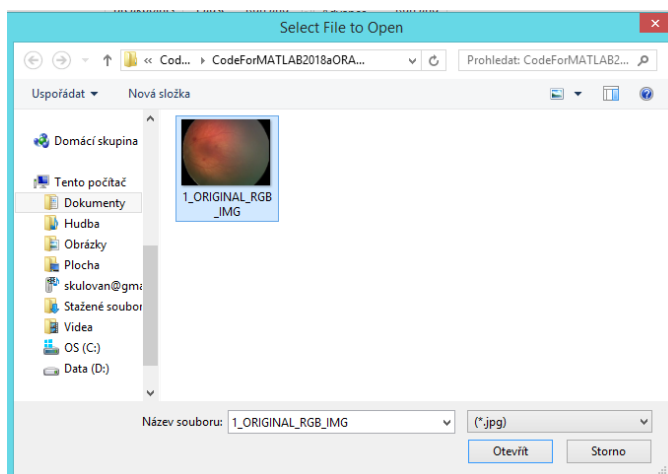
9 Implementace segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

9.1 Uživatelské rozhraní

Uživatel si zvolí, jestli chce aplikovat navržený semi supervizorní klasifikační algoritmus s on-line učením a automatickou identifikací retinálních lézí bez vstupu uživatele na celý soubor snímků nebo pouze na jeden snímek (Obrázek 58). Následně daný snímek, popřípadě složku, která obsahuje snímky, vybere pomocí klasického průzkumníkového Windows rozhraní (Obrázek 59). Algoritmus vytvoří ve stejném adresáři složku (Obrázek 60) OUTPUT, do které vytvoří složku pro každý snímek. Ve složce jsou jak jednotlivé mezikroky zpracování snímku, tak konečná matice, která obsahuje originální snímek, segmentační masku a výsledné segmentované retinální léze. Ve složce se uloží i workspace prostředí MATLAB, který obsahuje všechny použité proměnné, pro případné další zpracování daných snímků.

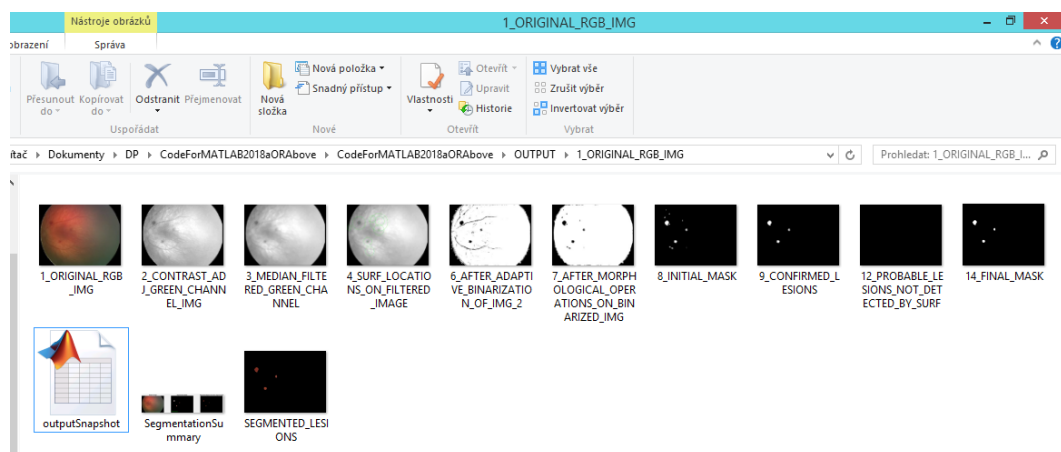


Obrázek 58: Volba snímku/složky.



Obrázek 59: Výběr snímku

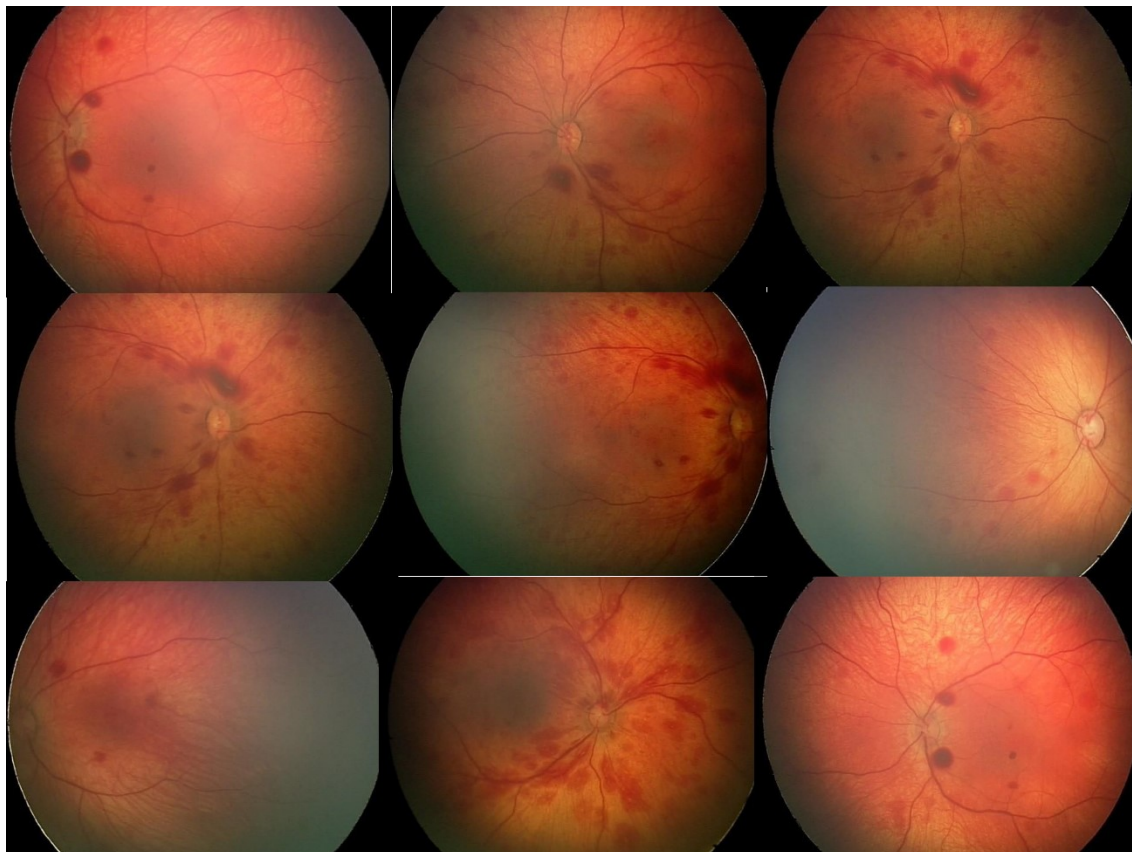
Implementace segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí



Obrázek 60: Výstup navrženého algoritmu.

9.2 Předzpracování obrazu

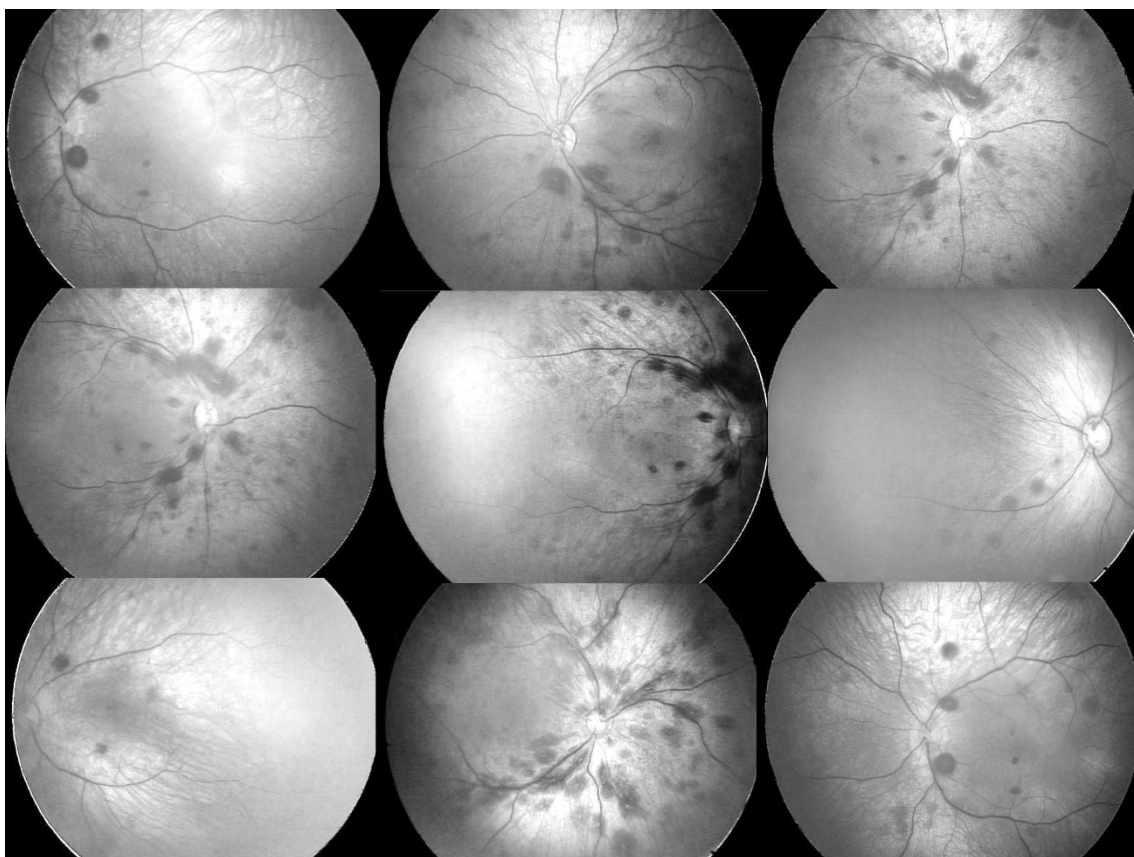
Pro ukázkou bylo vybráno z celkové databáze devět snímků (Obrázek 61). Na těchto snímcích bude krok po kroku popsán algoritmus segmentace retinálních lézí.



Obrázek 61 Originální snímky z RetCamu.

Implementace segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

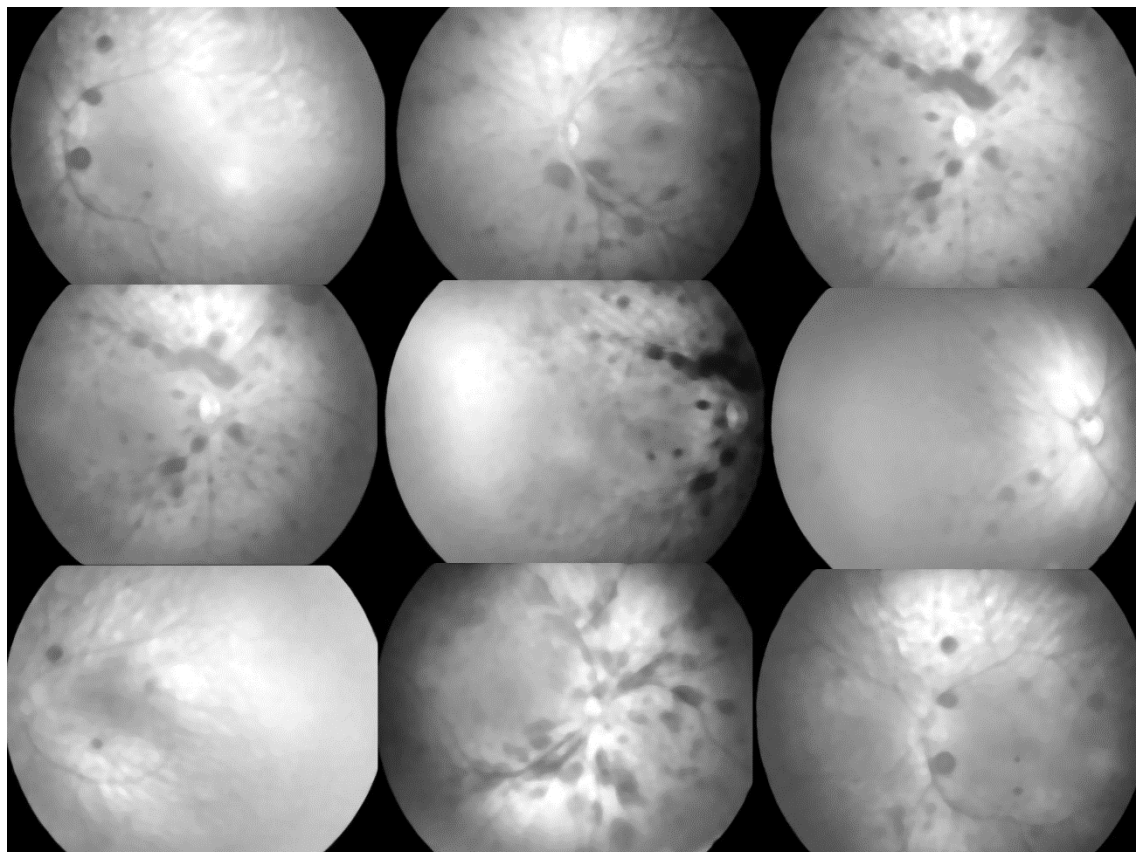
Nejprve jsou originální snímky z RetCamu předzpracovány. Z RGB matice snímku, která obsahuje červenou, modrou a zelenou chrominanční složku, je extrahována pouze zelená chrominanční složka, ve které jsou nejvýrazněji viditelné retinální léze. Následně je tato zelená chrominanční složka transformována do snímku v šedo tónové škále, kde každý pixel reprezentuje intenzitu jasu v rozsahu 0-255, od nejtmaší černé barvy, reprezentované nulou, po nejsvětlejší bílou barvu, reprezentovanou hodnotou dvě stě padesát pět (Obrázek 62).



Obrázek 62: Zelená chrominanční složka převedena do snímku v šedo tónové škále.

9.3 Mediánová filtrace

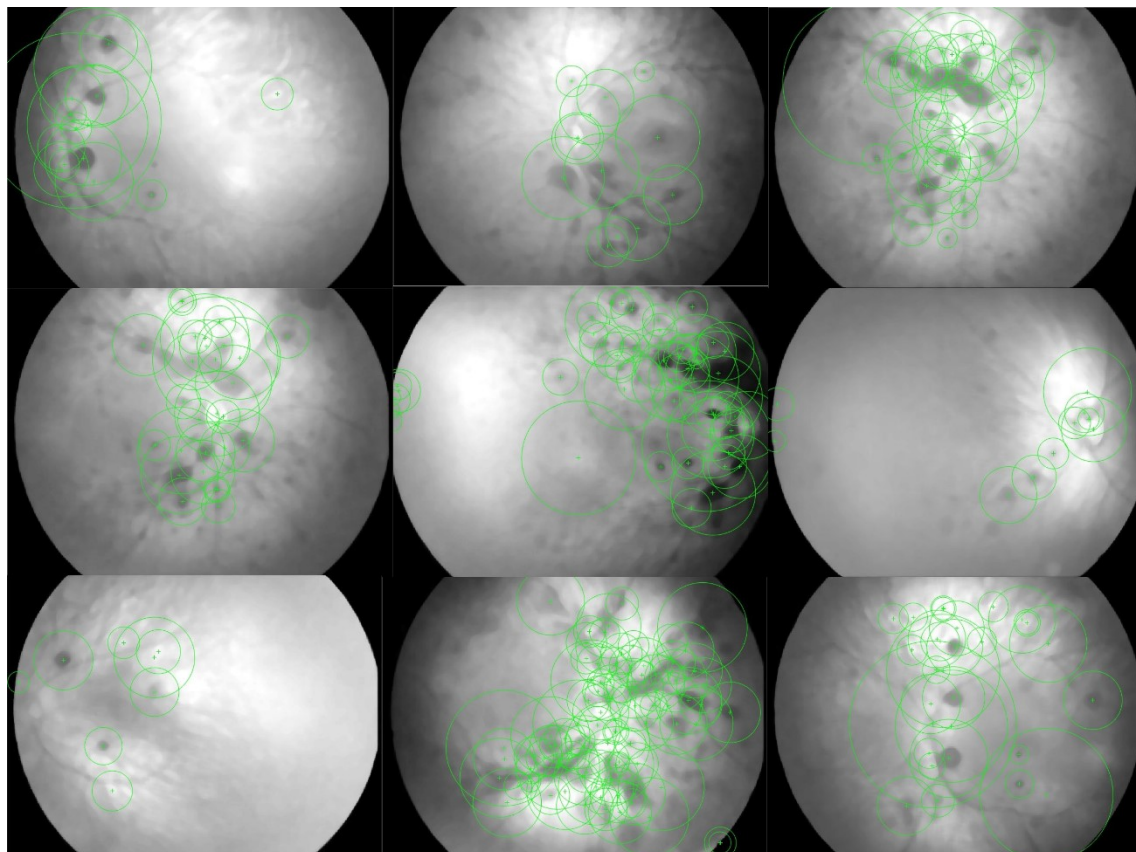
Algoritmus se větví do dvou větví (Obrázek 45). V levé větvi následuje po extrakci zelené chrominanční složky a převedení do šedo stupňové škály mediánová filtrace (Obrázek 63). Jelikož jsou snímány sítnice novorozenců, vznikají pohybové artefakty, které se na výsledných snímcích projeví jako šum. K odstranění šumu je použita již zmíněná mediánová filtrace. Je použit mediánový filtr s filtračním oknem o rozměru 12x12. Výstupní hodnota je rovna mediánu ze sousedních pixelů, sousední pixely jsou stanoveny pomocí filtračního okna.



Obrázek 63: Snímky po aplikaci mediánového filtru.

9.4 Blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků

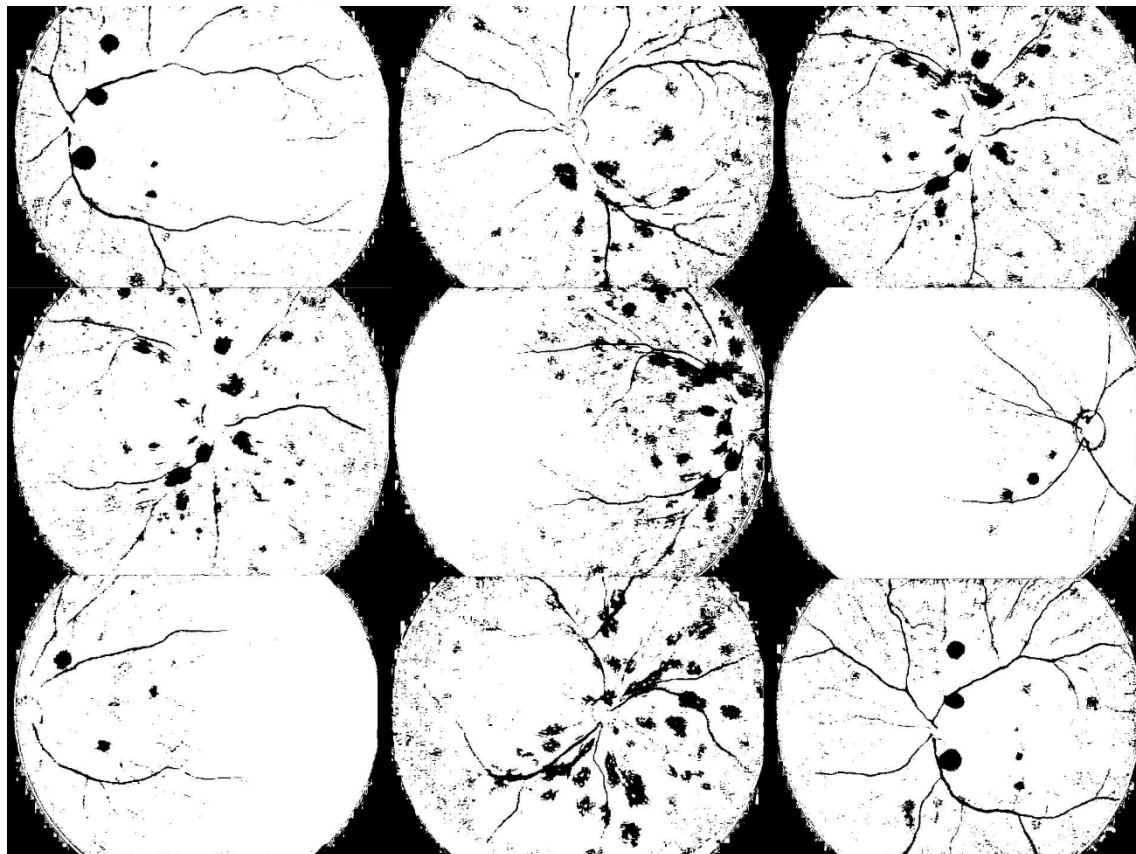
V druhé větvi navrhovaného algoritmu (Obrázek 45) jsou na snímcích v šedo tónové škále detekovány příznaky (Obrázek 64) pro blob detekci. Příznaky jsou nalezeny pomocí SURF. Na snímek jsou aplikovány box filtry, je zvolen počet filtrů aplikovaných na snímek a jejich velikost, díky tomu získáme naškálovaný snímek. Mezi těmito naškálovanými snímky poté hledáme dané příznaky. Následuje blob detekce na podkladu nalezených příznaků pomocí SURF, založená na hledání oblastí s rozdílnými vlastnostmi. Blob detekce detekuje tmavé i světlé blobs.



Obrázek 64: Označení příznaků ve snímcích v šedo tónové škále.

9.5 Adaptivní binarizace

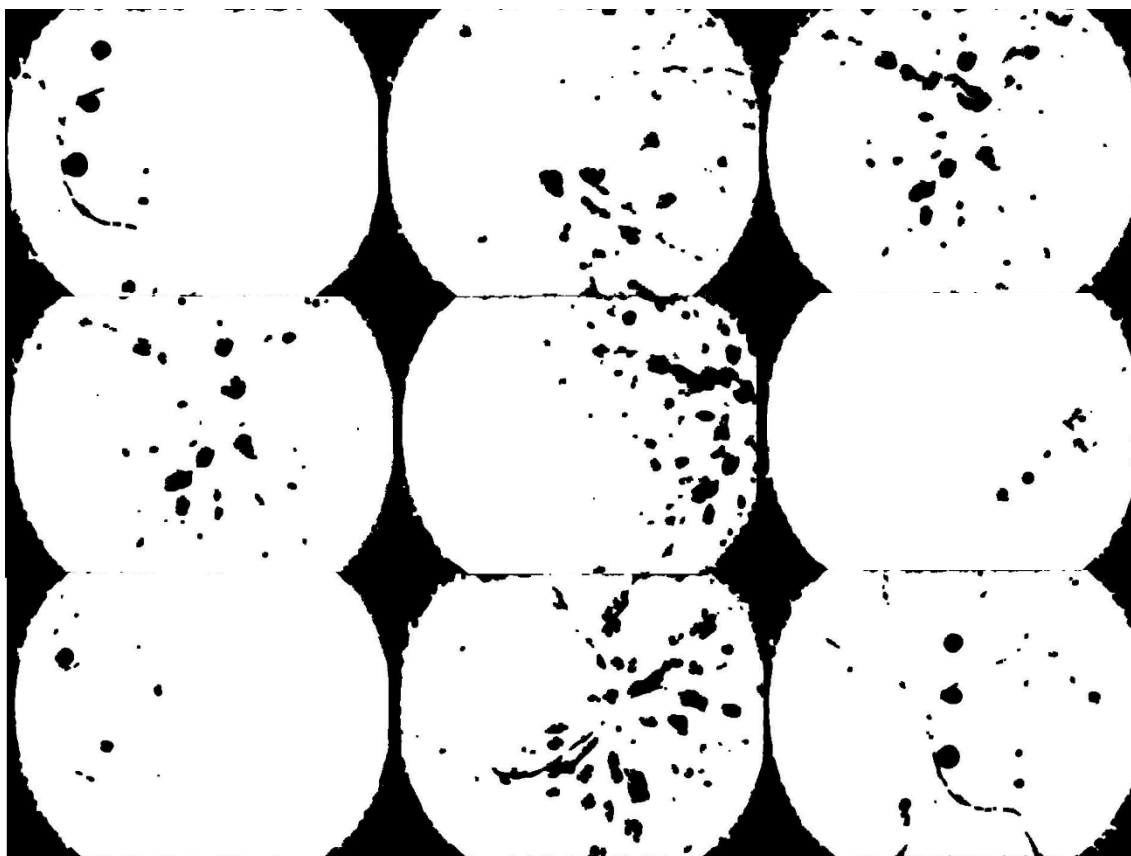
V pravé větvi algoritmu je zelená chrominanční složka převedena do šedo tónové škály. Tmavší oblasti manifestují retinální léze. Nejjednodušší způsob segmentace těchto tmavých oblastí je pomocí binarizace. Je použita adaptivní binarizace, ve které je použit lokálně-adaptivní práh, to znamená, že práh je funkcí lokálních parametrů snímku. Na výstupním binárním snímku jsou oblasti zájmu zobrazeny černě a pozadí bíle (Obrázek 65).



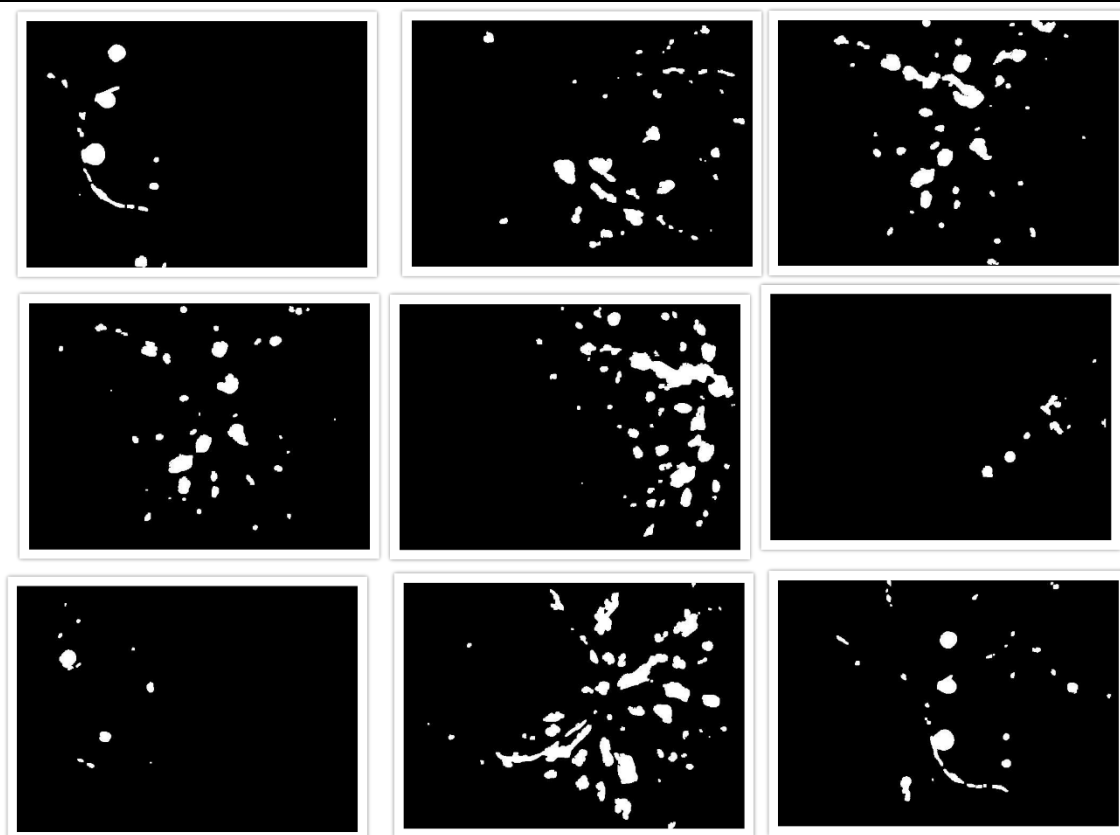
Obrázek 65: Snímky po adaptivní binarizaci.

9.6 Morfologické operace

Pomocí binarizace se vysegmentují nejen retinální léze, ale i cévní řečiště, proto jsou na binární snímek aplikovány morfologické operace. Pro vyhlazení šumu je provedena mediánová filtrace, vyplnění děr, a eroze se čtvercovým strukturálním prvkem. Výstupem je binární snímek, který obsahuje vysegmentované retinální léze (Obrázek 66). Poté je z binárního snímku vytvořena maska (I_{InitMask}), je provedena pouze barevná inverze, retinální léze jsou vyobrazeny bíle a pozadí černě (Obrázek 67). Na Obrázku 68 jsou zobrazeny ty oblasti zájmu, které byly detekovány pouze pomocí binarizace, ale nebyly detekovány pomocí blob detekce.



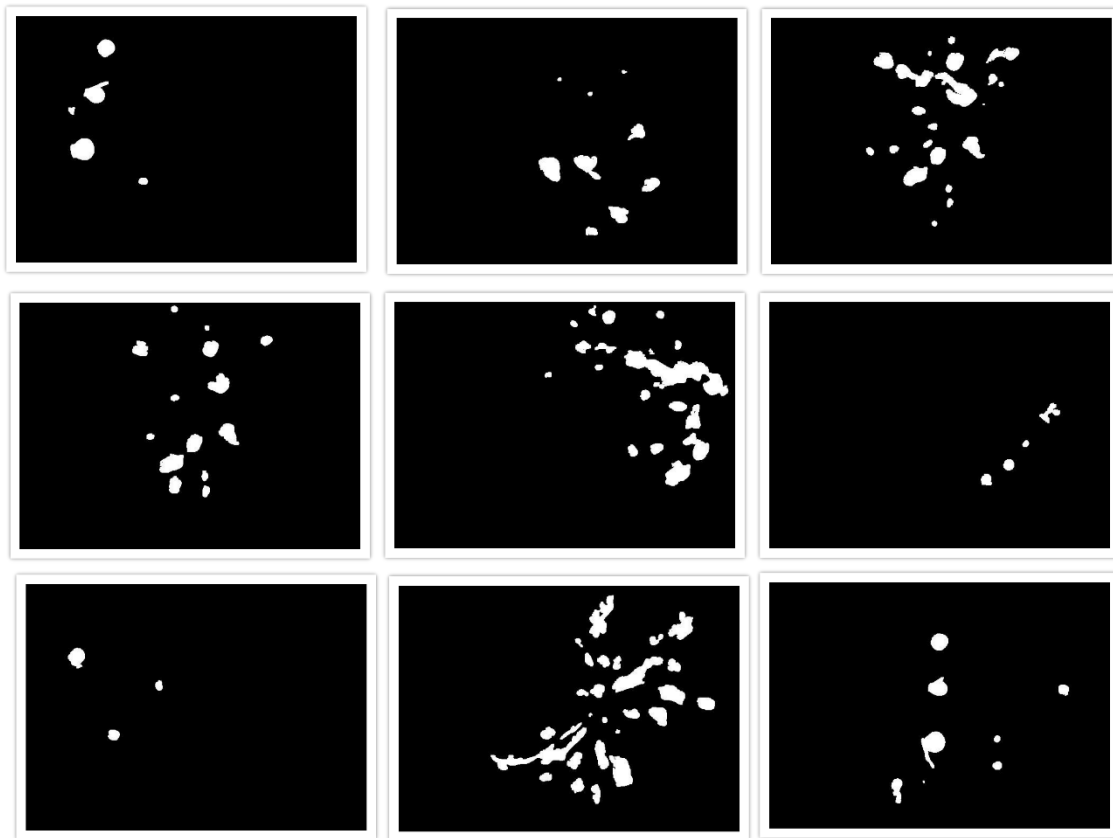
Obrázek 66: Vysegmentované retinální léze pomocí adaptivní binarizace a morfologických operací.



Obrázek 67: Maska segmentovaných retinálních lézí pomocí binarizace a morfologických operací ($I_{InitMask}$).

Implementace segmentačního modelu a klasifikační metody pro automatickou identifikaci a extrakci retinálních lézí

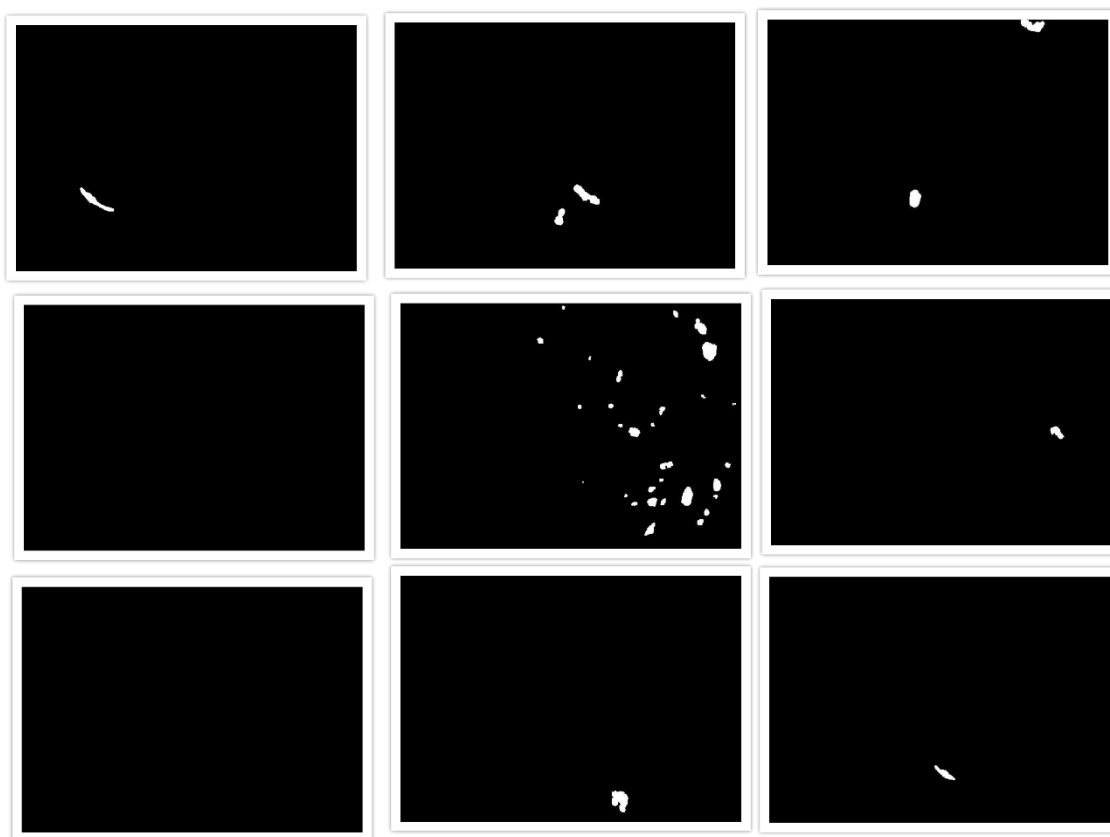
Následně je vytvořena maska (Obrázek 68), kde jsou zachovány ty retinální léze, které byly detekovány pomocí adaptivní binarizace a blob detekce zároveň, oblasti zájmu jsou vyobrazeny bíle, pozadí černě ($I_{\text{ConfLesion}}$).



Obrázek 68: Maska, která obsahuje oblasti detekované pomocí blob detekce a binarizace zároveň ($I_{\text{ConfLesion}}$).

9.7 Semi supervizorní klasifikace retinálních lézí s on-line učením bez vstupu uživatele

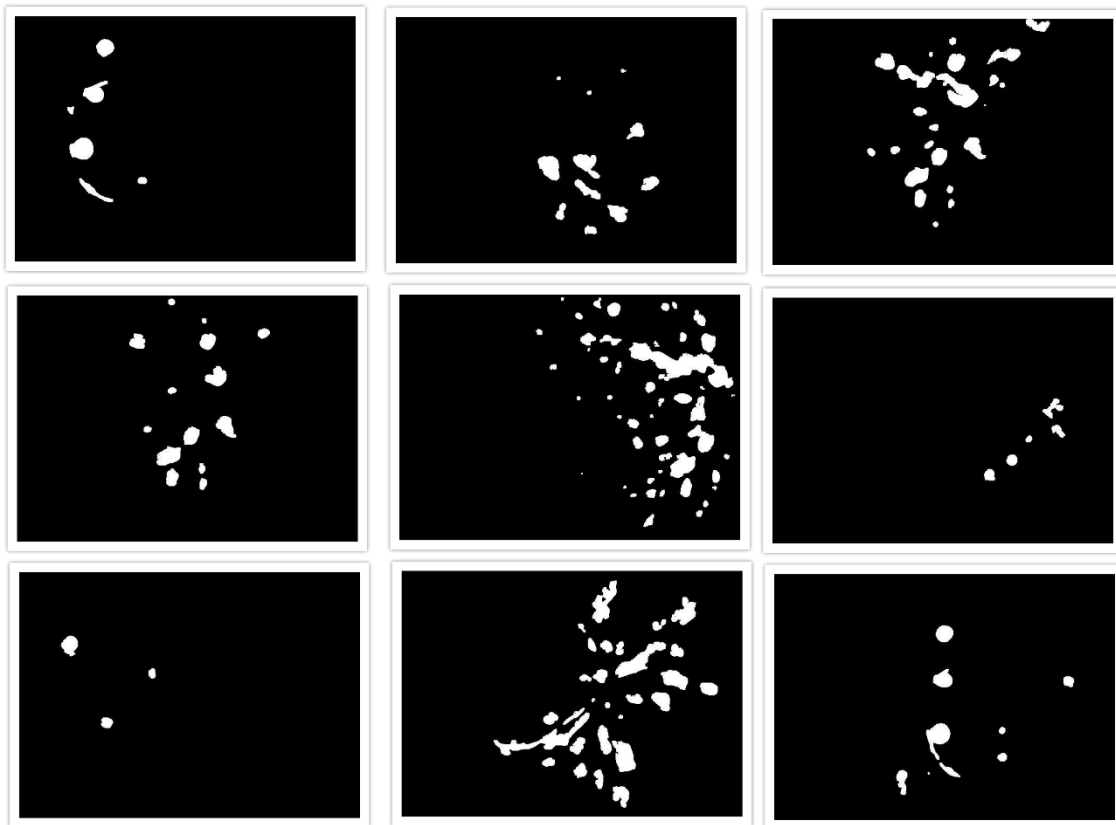
Kombinace strojového učení je v tomto případě použita pro detekci nejednoznačných oblastí s retinálními lézemi. Nejednoznačné oblasti jsou oblasti, které vznikly jako rozdíl mezi maskou po binarizaci a maskou po SURF detekci blob. Prvním krokem je nalezení morfologických příznaků v masce po binarizaci. Tyto příznaky se použijí pro k-means shlukovou analýzu. Objekty jsou rozděleny do dvou shluků, není avšak jasné, který shluk jsou retinální léze, a který chybně detekované oblasti. Proto jsou stanoveny nejvýznamnější léze v masce po binarizaci, a dle toho v kterém shluku se tyto nejvýznamnější léze nachází, můžeme určit shluk retinálních lézí a shluk chybně detekovaných oblastí. Poté je vytvořena maska (I_{Mask}), která obsahuje pouze ty retinální léze, které jsou detekovány pomocí k-means shlukové analýzy (Obrázek 69) a jsou ve shluku, který je označen nejvýznamnější blobs, ale nejsou detekovány pomocí blob detekce ($I_{InitMask}$) a to vše plně automaticky bez vstupu uživatele.



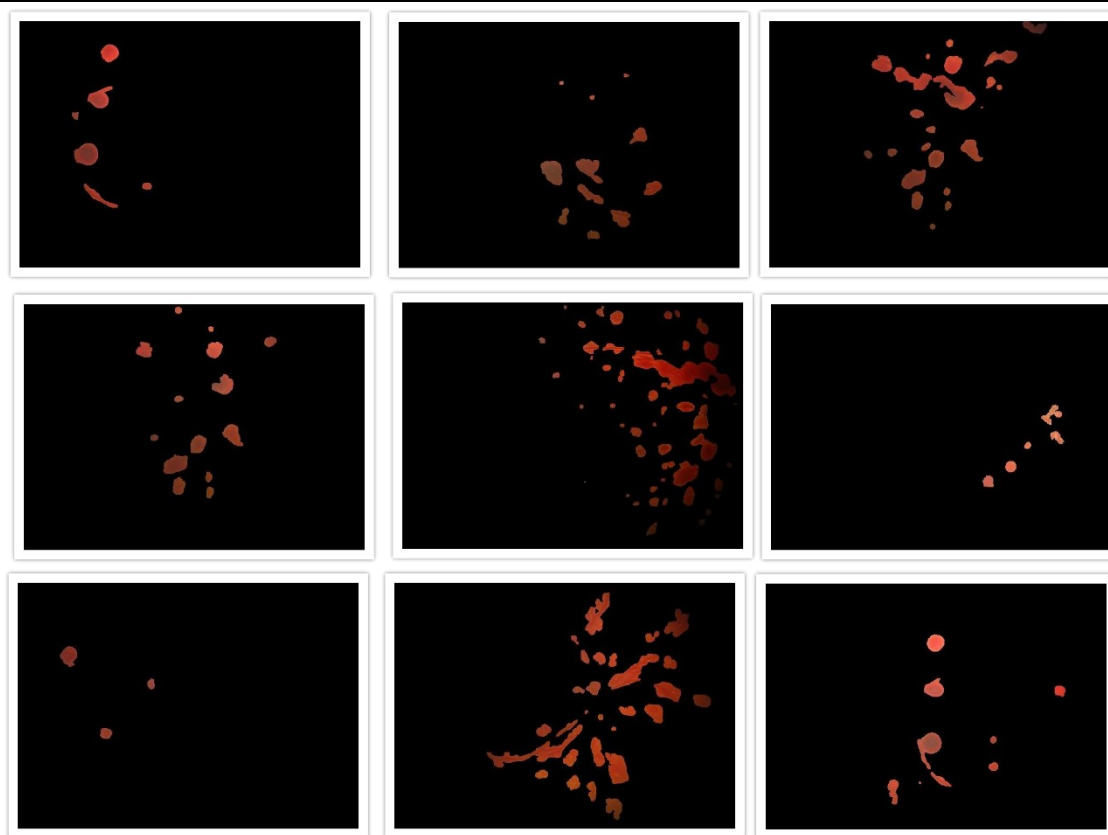
Obrázek 69: Maska detekovaných retinálních lézí pomocí k-means shlukové analýzy.

9.8 Finální maska

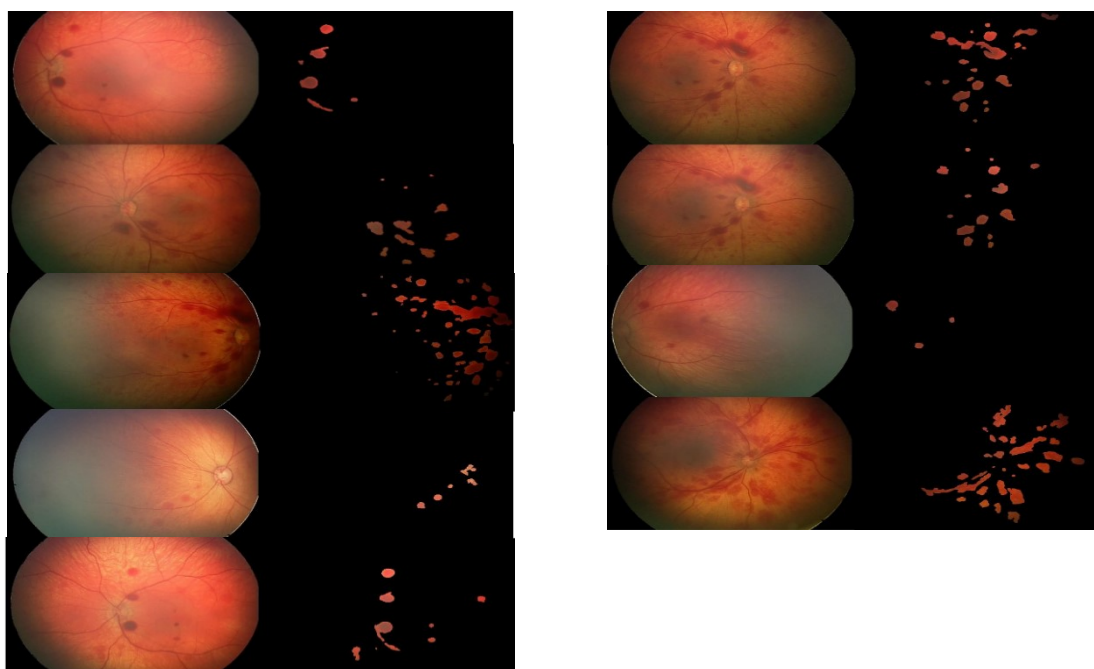
Finální maska vzniká pomocí logické operace nebo mezi maskou vzniklou z blob detekce a binarizace ($I_{\text{ConfLesion}}$) a maskou vzniklou z k-means shlukové analýzy (Obrázek 70). Finální maska je použita k extrakci retinálních lézí z původního snímku (Obrázek 71, Obrázek 72).



Obrázek 70: Finální maska



Obrázek 71: Výsledná maska segmentovaných retinálních lézí.



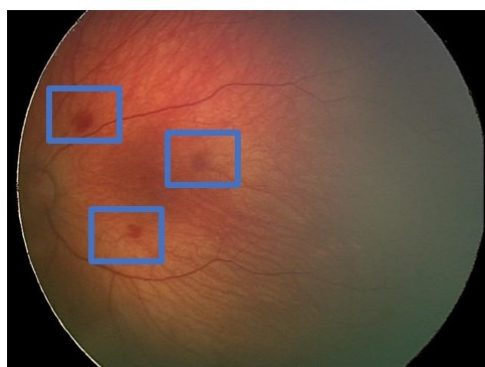
Obrázek 72: Originální snímek (vpravo) vysegmentované retinální léze pomocí masky vytvořené navrženým algoritmem. (vlevo).

10 Testování efektivity navržené procedury pro reálná klinická data

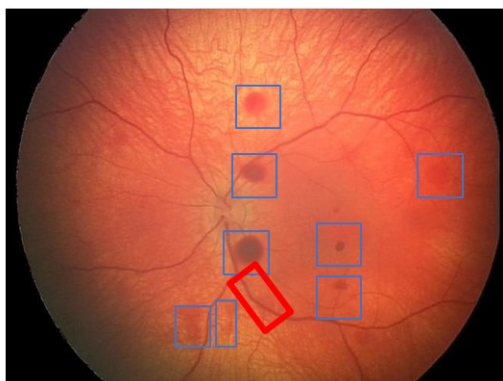
Z celkové databáze, která obsahuje 2794 snímků, bylo vybráno pro rozsáhlé testování 100 snímků. Na tyto snímky byl následně použit navržený segmentační algoritmus. Výsledky jednotlivých segmentací pomocí algoritmu byly porovnány se zlatým standardem. Zlatý standard byl stanoven pomocí ruční segmentace. Byl porovnáván počet nalezených retinálních lézí pomocí navrženého algoritmu s počtem nalezených retinálních lézí ruční metodou (zlatým standardem). Výsledky byly zpracovány do tabulky (Tabulka 4 Ukázka tabulky pro vyhodnocení přesnosti navrženého algoritmu.), celá výsledná tabulka je přiložena v příloze (Příloha 1). Vždy byl určen počet retinálních lézí pomocí ruční segmentace, ve snímcích vyznačeny modrými obdélníky, a počet retinálních lézí nalezených pomocí navrženého algoritmu. Retinální léze, které byly nalezeny pomocí segmentačního modelu i zlatého standardu byly označeny jako pozitivní (Obrázek 73). Chybně detekované retinální léze pomocí navrženého algoritmu jsou rozděleny na dvě skupiny – falešně pozitivní a falešně negativní. Skupina falešně pozitivní znamená, že segmentovaná retinální léze pomocí navrženého algoritmu neodpovídá ve skutečnosti retinální lézi (Obrázek 74). Falešně negativní jsou označeny ty léze, které navržený algoritmus nevysegmentoval (Obrázek 75). Na následujících snímcích je vyobrazen postup řešení a v tabulce zapsány výsledky pro dané ukázkové snímky.

Tabulka 4 Ukázka tabulky pro vyhodnocení přesnosti navrženého algoritmu.

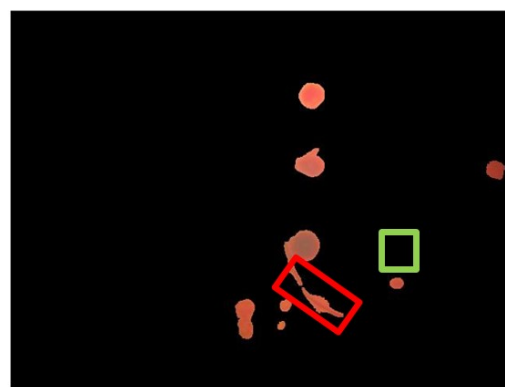
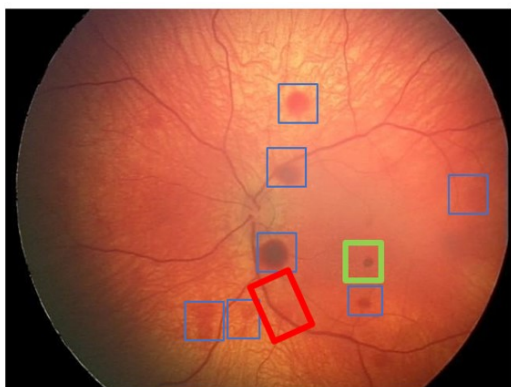
Soubor	Zlatý standard	Segmentace pomocí algoritmu	Negativní = chybně segmentováno	Pozitivní = správně segmentováno	Falešně pozitivní	Falešně negativní
Obrázek 73	3	3	0	0	0	0
Obrázek 73	8	9	1	8	1	0
Obrázek 73	8	8	2	7	1	1



Obrázek 73: Retinální léze segmentované ručně vyznačeny modrým obdélníkem. Masky retinálních lézí segmentovaná pomocí algoritmu (vpravo).



Obrázek 74: Retinální léze segmentované ručně vyznačeny modrým obdélníkem. Výsledná maska retinálních lézí segmentována pomocí navrženého algoritmu (vpravo). Falešně pozitivní retinální léze vyznačeny červeným obdélníkem v obou snímcích.



Obrázek 75: Retinální léze vysegmentované ručně vyznačeny modrým obdélníkem. Výsledná maska retinálních lézí segmentována pomocí navrženého algoritmu (vpravo). Falešně pozitivní retinální léze vyznačena červeným obdélníkem. A Falešně negativní retinální léze vyznačena zeleně.

Testování přesnosti bylo provedeno pro všech 100 snímků. Z výsledků byla zpracována popisná statistika (Tabulka 5). Z výsledků je možno konstatovat, že navržený algoritmus segmentuje retinální léze správně s pravděpodobností 97, 951 %. Pravděpodobnost chybného segmentování retinálních lézí pomocí navrženého algoritmu je 8,196 %. Pokud se na problematiku nahlédne z pohledu průměrných hodnot, výsledky odpovídají již zmíněným pravděpodobnostem. Průměrně je na snímku pomocí navrženého algoritmu segmentováno 16 retinálních lézí, z toho je správně průměrně segmentováno 15 a chybně 1.

Tabulka 5 Popisná statistika pro testování přesnosti navrženého algoritmu.

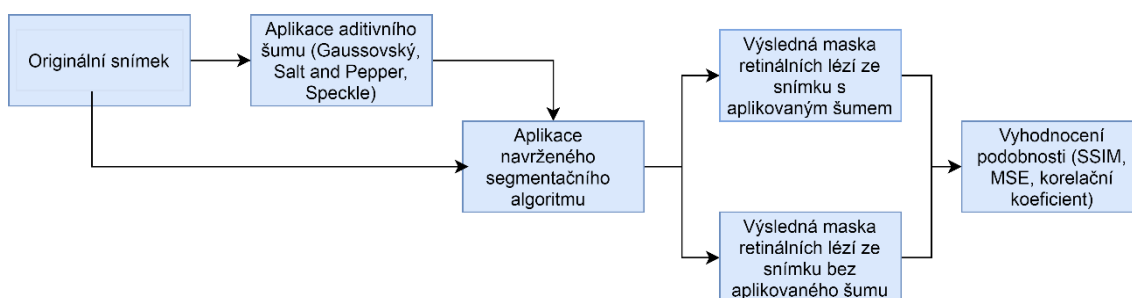
Soubor	Zlatý standard	Segmentace pomocí algoritmu	Negativní = chybně segmentováno	Pozitivní = správně segmentováno	Falešně pozitivní	Falešně negativní
průměr	15	16	1	15	1	0
medián	14	15	1	13	1	0
rozptyl	87,773	86,037	1,082	88,068	0,902	0,241
směrodatná odchylka	6,586	6,527	0,842	6,584	0,746	0,449
pravděpodobnost			8,196 %	97,951 %	6,015 %	2,181 %

11 Testování robustnosti navržené procedury pro klinická reálná data

11.1 Způsob testování robustnosti navrženého algoritmu

Po testování efektivnosti navrženého algoritmu následovalo testování jeho robustnosti (Obrázek 76). Pro testování robustnosti navrženého algoritmu byly na původních 100 snímků z RetCamu aplikovány šумы. Byly zvoleny tři druhy šumů: Gaussovský šum, Salt and Pepper a Speckle. Pro každý šum bylo otestováno dvacet různých úrovní tohoto šumu, to znamená, že celkem bylo otestováno 6000 snímků s různým šumem proto, aby bylo z výsledků patrné, jak navržený algoritmus na aplikovaný šum reaguje. Zda-li úroveň segmentace retinálních lézí pomocí navrženého algoritmu významně klesá s vyšší úrovní aditivního šumu, nebo zda-li navržený algoritmus je proti aplikovanému šumu stabilní. Aplikace šumu na původní snímek byla provedena v prostředí MATLAB.

Pro vyhodnocení rozdílů segmentace původních snímků a snímků s aplikovaným šumem byly použity tyto hodnotící parametry: střední kvadratická chyba, index strukturální podobnosti a korelační koeficient. Vždy byla porovnána výsledná maska retinálních lézí z původního snímku a výsledná maska retinálních lézí ze snímku s aplikovaným šumem.



Obrázek 76: Vývojový diagram pro testování robustnosti navrženého algoritmu.

11.1.1 SSIM

Index strukturální podobnosti slouží k porovnání podobnosti mezi dvěma snímky. Spadá do referenční metriky, kdy je vždy nutné stanovit jeden snímek jako referenční. V našem případě se vždy jedná o snímek, na který nebyl aplikován šum. Pomocí indexu strukturální podobnosti kvantifikujeme degradaci snímku, na který byl aplikovaný šum, oproti referenčnímu snímku. Degradaci se rozumí změna vnímání strukturálních informací snímku, do kterých patří tři základní charakteristiky obrazu jas, kontrast a textura. Výpočet indexu strukturální podobnosti je založen na výpočtu tří složek, jasové složky, kontrastní složky a strukturální složky. Celkový index je kombinací těchto tří složek (11.1), (11.2).

$$\text{SSIM}(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (11.1)$$

Kde

$$\begin{aligned} l(x, y) &= \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_{2x} + \mu_{2y} + C_1} \\ c(x, y) &= \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_{2x} + \sigma_{2y} + C_2} \\ s(x, y) &= \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \end{aligned} \quad (11.2)$$

Kde μ představuje střední hodnotu, σ značí směrodatnou odchylku, σ_{xy} značí kovarianci snímků x , y . Pro výpočet indexu strukturální podobnosti u snímku se využívá Gaussovského okna o velikosti 11×11 . Výsledné hodnoty se nacházejí v intervalu $<-1;1>$. Kde 1 představuje zcela identické snímky a 0 představuje žádnou strukturální podobnost. [24]

11.1.2 MSE

Střední kvadratická chyba (anglicky mean squared error) z matematického pohledu udává, jak je daný bod vzdálený od referenční hodnoty a tuto vzdálenost umocní na druhou. Většinou se využívá pro množinu bodů, kdy se na druhou umocňuje vzdálenost bodů od regresní linie. Čím menší je střední kvadratická chyba, tím blíže je množina bodů k regresní linii. V oblasti zpracování obrazu je střední kvadratická chyba definovaná jako druhá mocnina rozdílů v hodnotách pixelů mezi odpovídajícími pixely dvou snímků. Střední kvadratická chyba snímku o rozměru $M \times N$ je dána (11.3):

$$MSE = \sum_{M, N} [I_1(m, n) - I_2(m, n)]^2 / (M * N) \quad (11.3)$$

Kde M , N udává počet řádků a sloupců vstupního obrazu. Čím menší hodnota střední kvadratické chyby, tím více identické jsou zkoumané snímky. [25]

11.1.3 Korelační koeficient

Korelační koeficient dvou proměnných je měřítkem jejich lineární závislosti. Pokud se jedna veličina mění, mění se lineárně i druhá. Korelace nabývá hodnot v intervalu $<-1,1>$, kdy hodnota -1 znamená, že jedna veličina se zvětšuje, zatímco druhá se zmenšuje, u hodnoty 1 obě veličiny zároveň rostou nebo klesají. Pokud nabývá korelační koeficient hodnot okolo nuly, neznamená to, že dané veličiny nemají mezi sebou závislost, jedná se pouze o to, že daná závislost nemá lineární charakter. Ve zpracování obrazu se využívá referenční snímek jako šablona, která se přiloží na druhý snímek a tam, kde se hodnoty shodují, je korelační koeficient maximální. Korelační koeficient dvou náhodných proměnných je definován jako (11.4):

$$\rho(A, B) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) \left(\frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right) \quad (11.4)$$

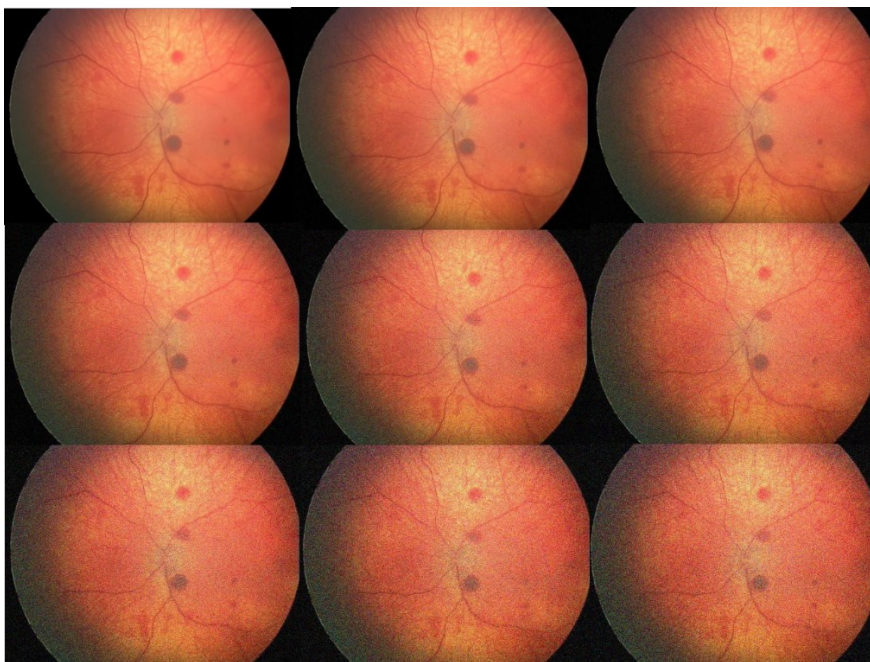
Kde μ představuje střední hodnotu, σ značí směrodatnou odchylku. [26]

11.2 Gaussovský šum

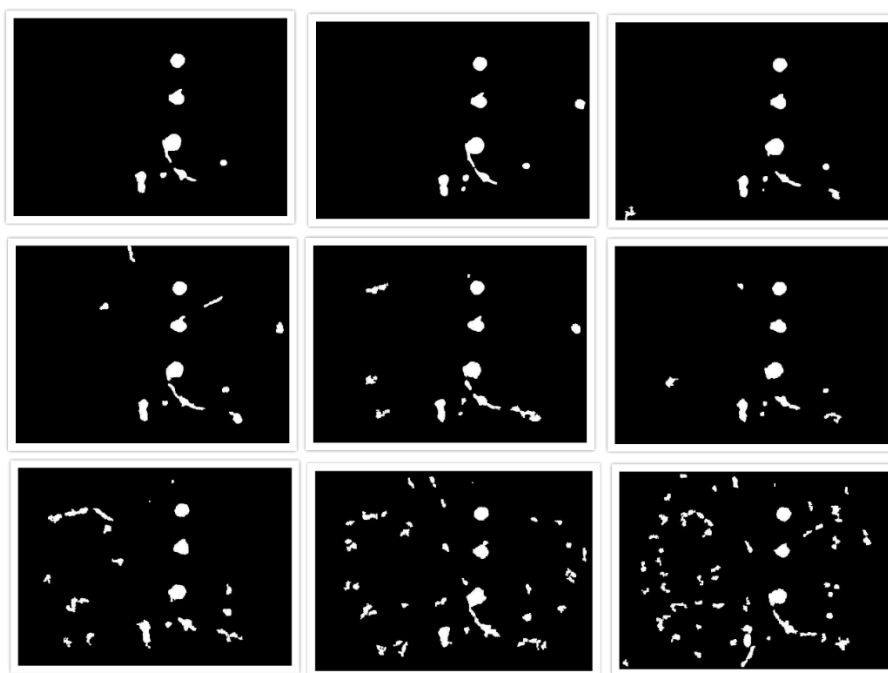
Gaussovský šum patří do skupiny statistických šumů. Funkce hustoty pravděpodobnosti Gaussovského šumu má normální (Gaussovo) rozdělení. To znamená, že hodnoty šumu nabývají hodnot Gaussova rozdělení. Po aplikaci Gaussovského šumu na původní snímek je každý pixel takto nově vzniklého obrazu kombinací hodnoty pixelu z původního snímku s náhodnou hodnotou z Gaussova rozdělení. Gaussovo rozdělení lze tvarovat pomocí změny hodnoty střední hodnoty μ a rozptylu σ^2 . Výpočet Gaussovské šumu je proveden dle rovnice (11.5):

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (11.5)$$

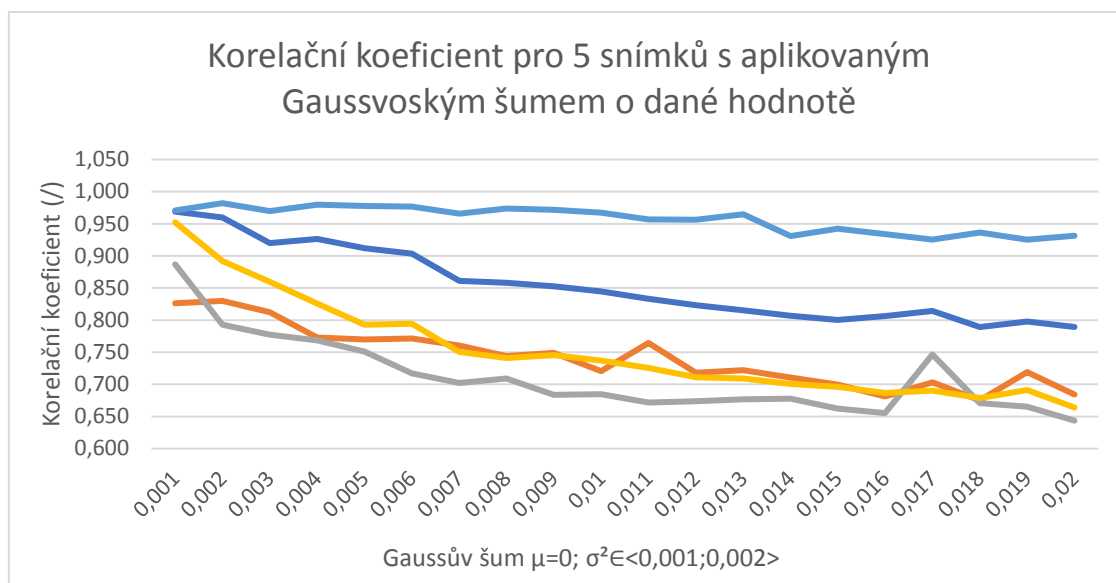
Gaussovský šum byl aplikován na 100 původních snímků (Obrázek 77). Střední hodnota byla vždy nastavena na hodnotu nula a rozptyl se měnil po krocích 0,001 v intervalu $\langle 0,001; 0,02 \rangle$. Následně byl na všechny snímky s aplikovaným Gaussovským šumem aplikován navržený segmentační algoritmus. Výsledná maska retinálních lézí byla porovnána pomocí evaluačních parametrů (SSIM, MSE, korelační koeficient) s maskou retinálních lézí snímku bez šumu (Obrázek 78). Kvůli lepší vizuální prezentaci výsledků v grafu byl vždy pro danou intenzitu šumu vypočten medián daného evaluačního parametru pro 100 testovaných snímků. Všechny výsledné hodnoty jsou zaneseny do tabulky, která se nachází v příloze DP. Pro ukázkou je zde i vložen graf s výsledky pěti vybraných snímků. [27, 28]



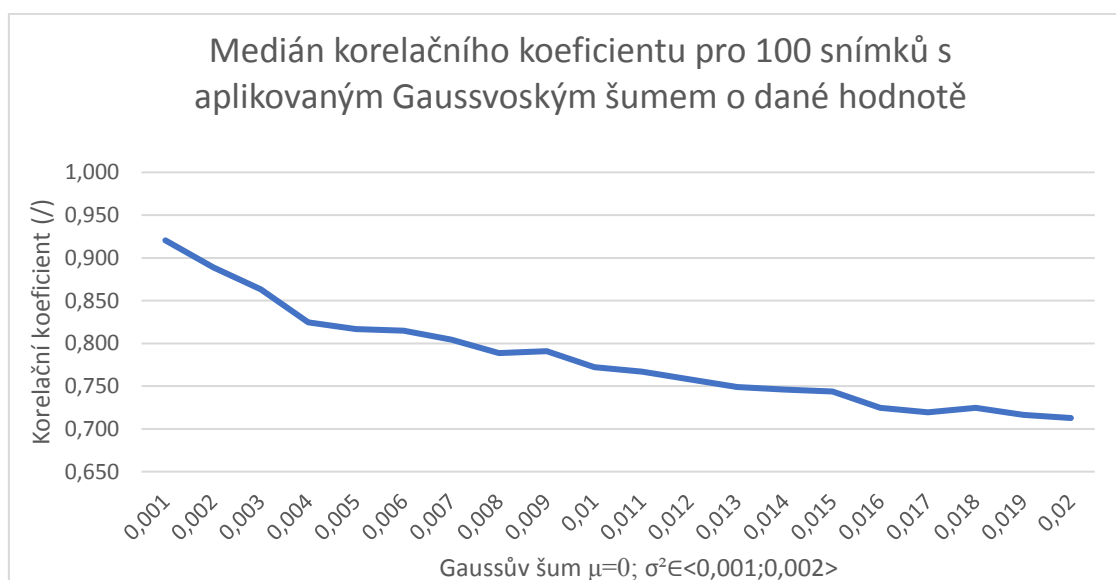
Obrázek 77: Snímky s aplikovaným Gaussovským šumem, zleva originální snímek a dále snímky s aplikovaným Gaussovským šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020



Obrázek 78: Výsledné masky retinálních lézí po aplikaci navrženého segmentačního algoritmu na snímky s aplikovaným Gaussovským šumem, zleva maska retinálních lézí z originálního snímku a dále masky retinálních lézí ze snímků s aplikovaným Gaussovským šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.

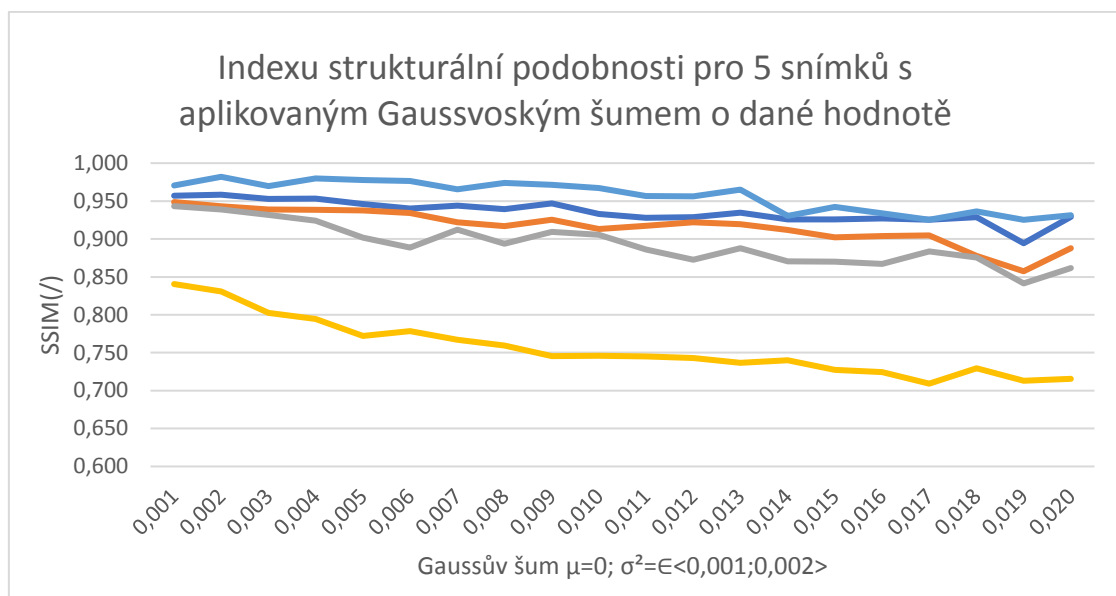


Obrázek 79: Grafické znázornění výsledných hodnot korelačního koeficientu pro 5 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.

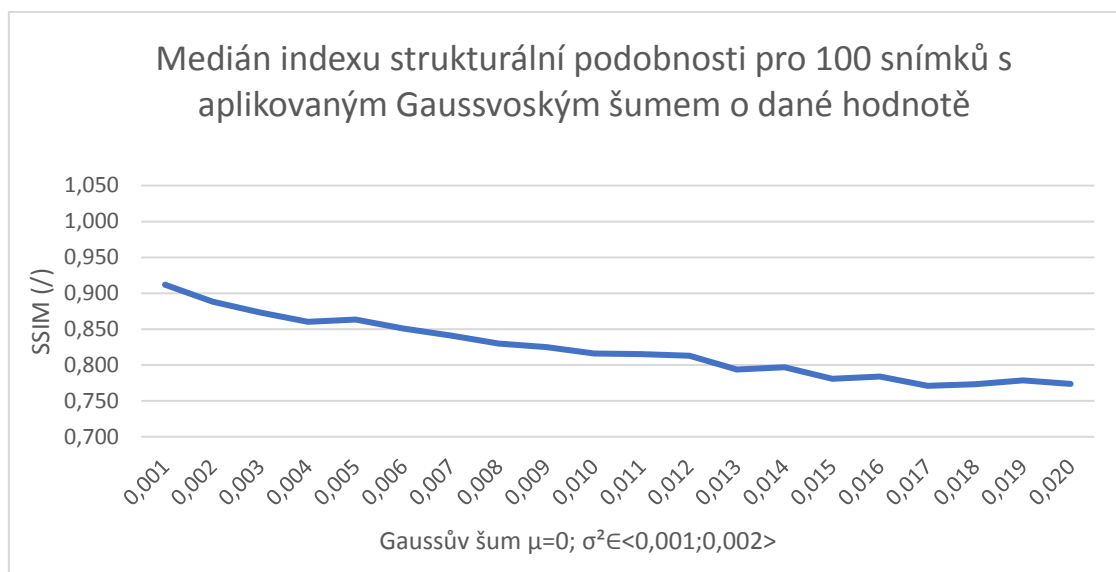


Obrázek 80: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu (Obrázek 79, Obrázek 80) mají klesající tendenci v závislosti na zvyšující se hodnotě rozptylu Gaussovského šumu. Hodnoty se nacházejí v kladných hodnotách, což značí u korelačního koeficientu lineární vzájemně rostoucí / klesající závislost. Avšak je nutné konstatovat, že oproti jiným aplikovaným šumům klesá korelační koeficient při aplikaci tohoto šumu nejnižším hodnotám.

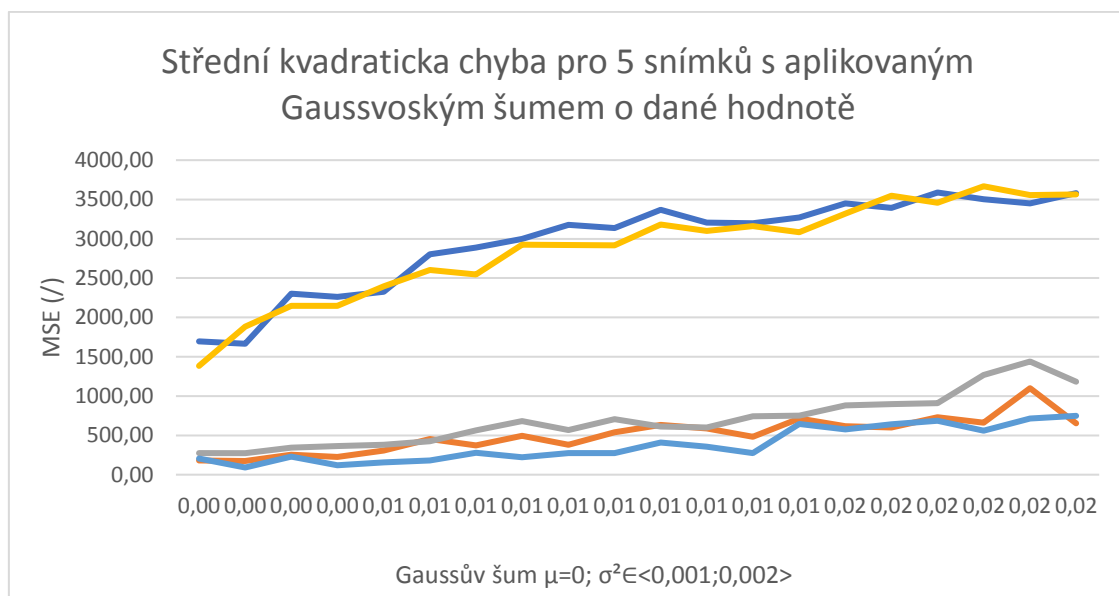


Obrázek 81: Grafické znázornění výsledných hodnot indexu strukturální podobnosti pro 5 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.

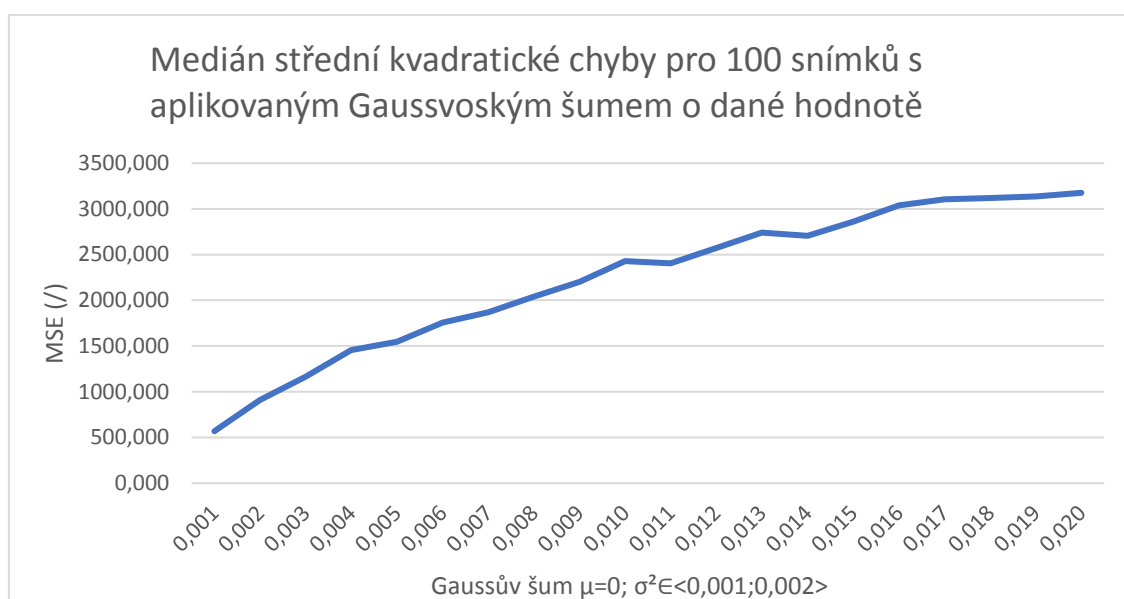


Obrázek 82: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným Gaussovským šumem.

Index strukturální podobnosti (Obrázek 81, Obrázek 82) pro snímky s aplikovaným Gaussovským šumem se pohybuje v rozmezí od 0,93 do 0,77. Hodnoty klesají velmi postupně s rostoucí hodnotou rozptylu Gaussovského šumu. Proto je možné konstatovat, že navržený algoritmus zpracuje kvalitně i snímky s aplikovaným Gaussovským šumem.



Obrázek 83: Grafické znázornění výsledných hodnot střední kvadratické chyby pro 5 snímků s aplikovaným Gaussvským šumem.



Obrázek 84: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným Gaussvským šumem.

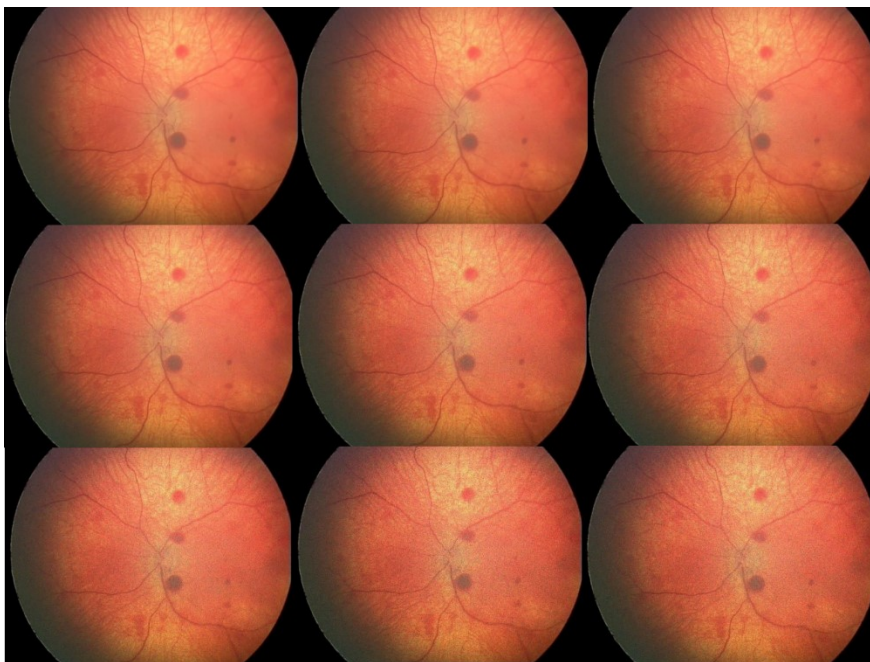
Kvadratická chyba (Obrázek 83, Obrázek 84), jak je možné již předpokládat, má pro snímky s aplikovaným Gaussvským šumem rostoucí charakter. Kvadratická chyba pro snímky s aplikovaným Gaussvským šumem je nejvyšší oproti jiným aplikovaným šumům.

11.3 Speckle šum

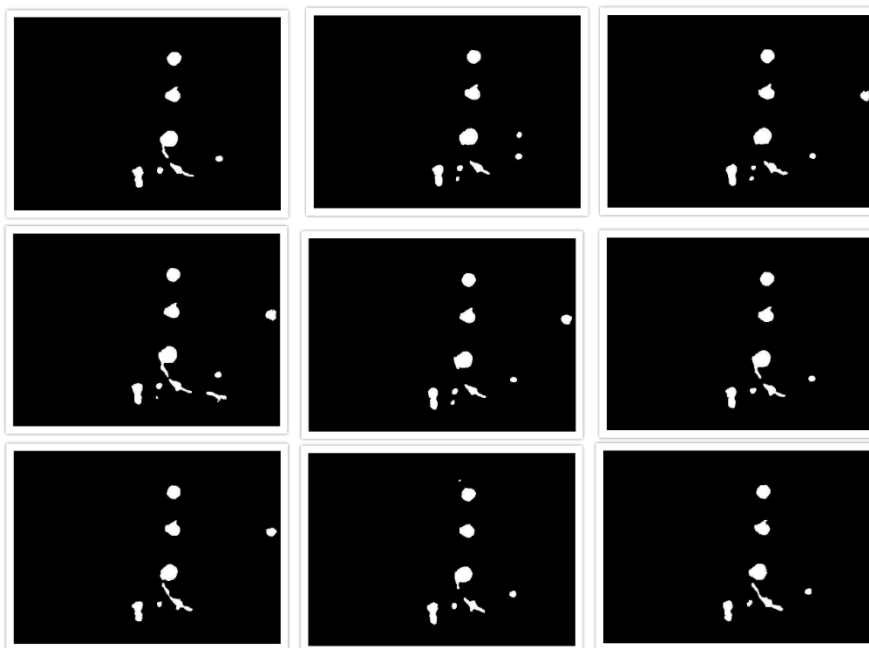
Jedná se o multiplikativní šum, který vzniká pomocí rovnice (11.6):

$$J = I + n * I \quad (11.6)$$

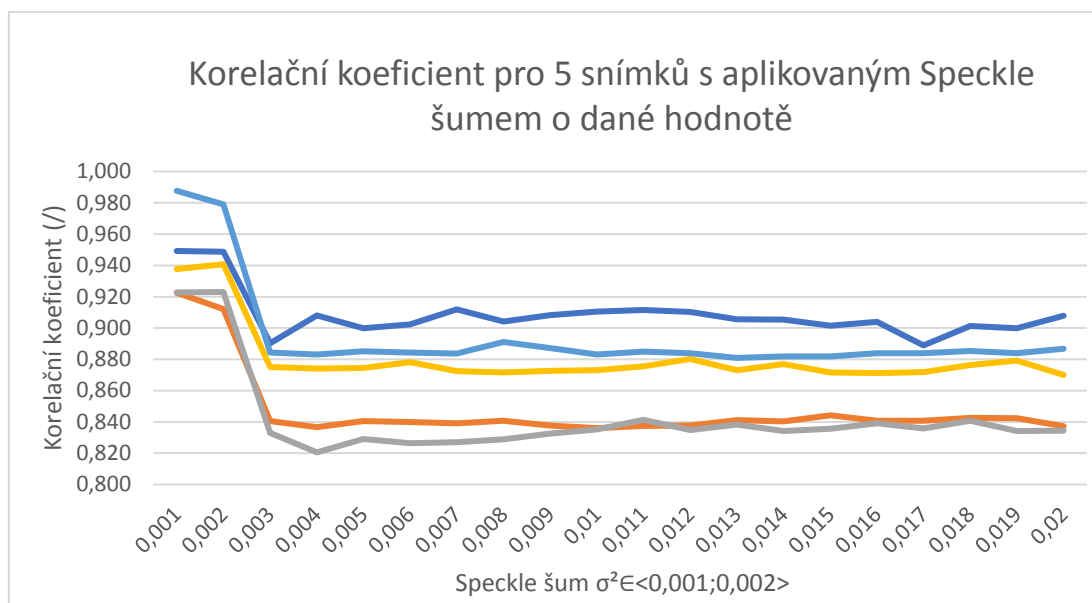
Kde J představuje snímek s aplikovaným šumem (Obrázek 85, Obrázek 86), I představuje originální snímek a n je šum s rovnoměrným rozdělením se středem v bodě nula a rozptylem. Rozptyl byl v tomto případě zvolen v rozmezí $\langle 0,001; 0,020 \rangle$ s krokem 0,001. Jedná se o vynásobení náhodných pixelů obrazu náhodnou hodnotou. Speckle je komplexním šum, je závislý na konkrétním snímku, a proto je tedy velmi těžké ho odstranit. [28]



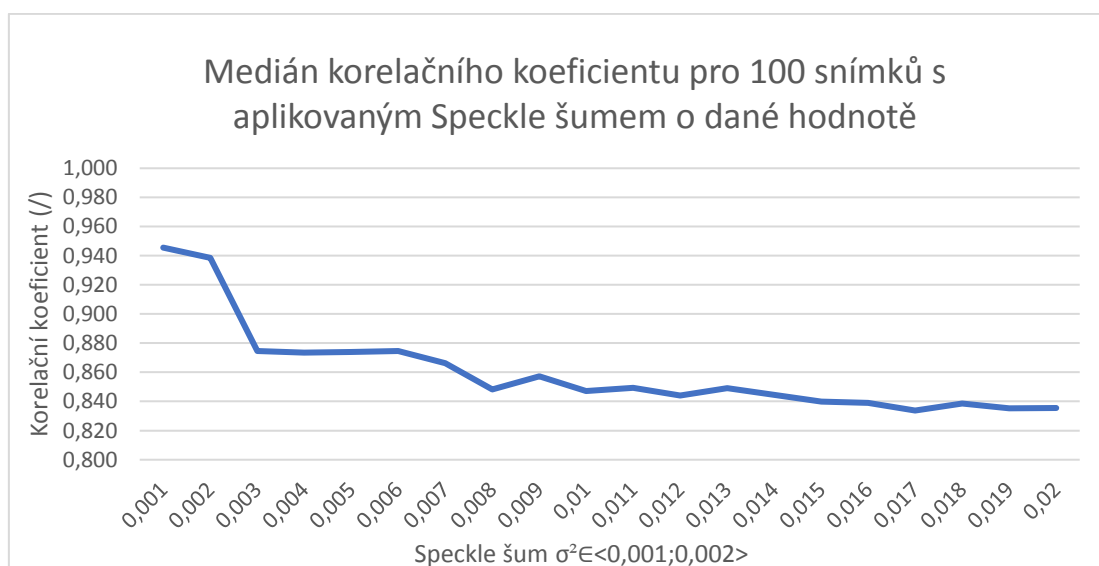
Obrázek 85: Snímky s aplikovaným Speckle šumem, zleva originální snímek a dále snímky s aplikovaným Speckle šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.



Obrázek 86: Výsledné masky retinálních lézí po aplikaci navrženého segmentačního algoritmu na snímky s aplikovaným Speckle šumem, zleva maska retinálních lézí z originálního snímku a dále masky retinálních lézí ze snímků s aplikovaným Speckle šumem se střední hodnotu $\mu=0$, $\sigma^2=0,001$; 0,002; 0,004; 0,008; 0,010; 0,013; 0,017; 0,020.

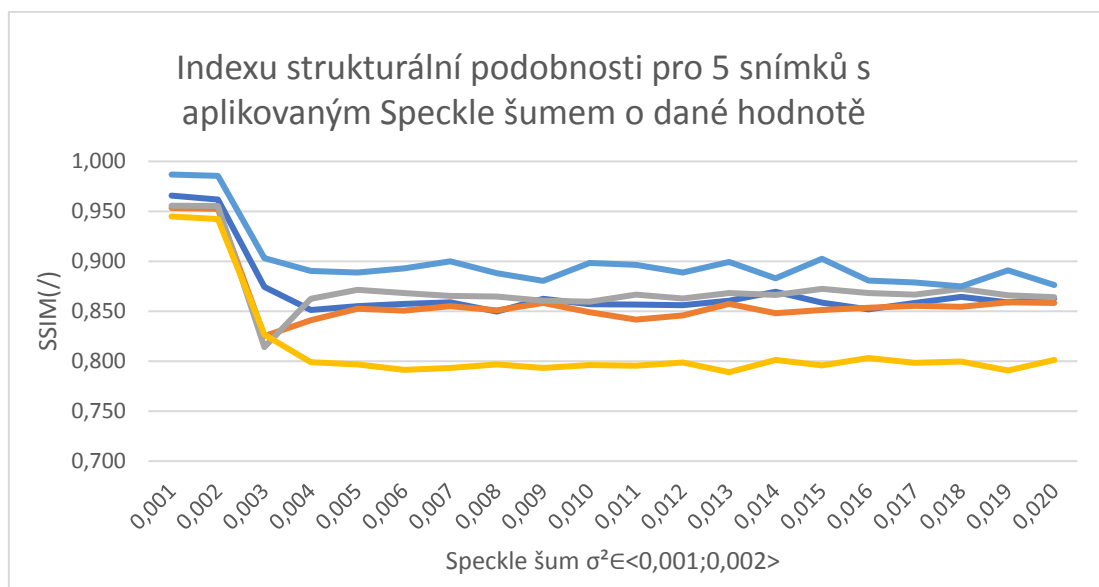


Obrázek 87: Grafické znázornění výsledných hodnot korelačního koeficientu pro 5 snímků s aplikovaným Speckle šumem.

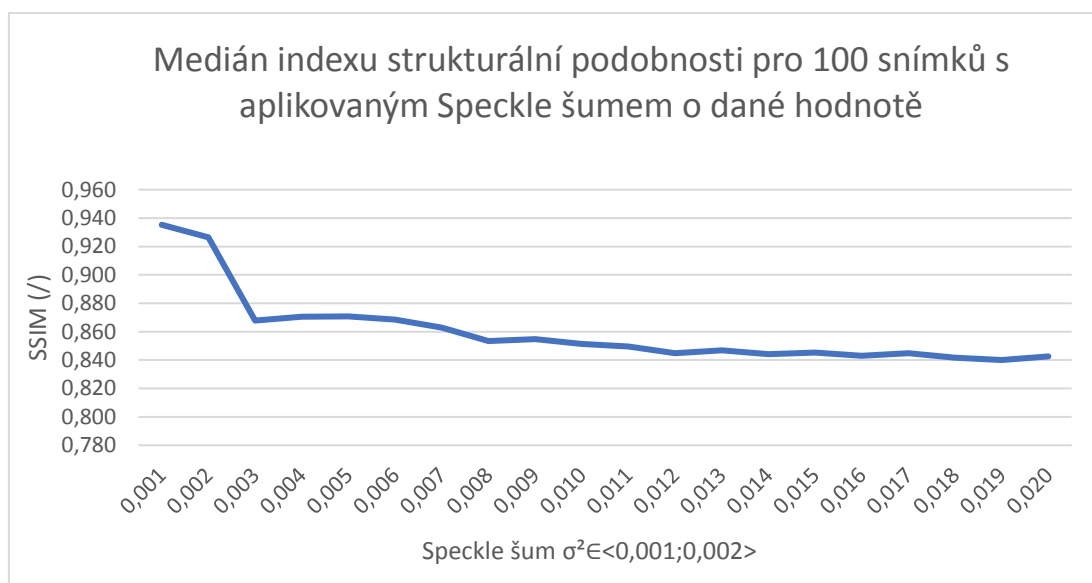


Obrázek 88: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným Speckle šumem.

Korelační koeficient (Obrázek 87, Obrázek 88) pro snímky s aplikovaným Speckle šumem klesá velmi pozvolně. Od hodnoty rozptylu Speckle šumu 0,008 je již klesání téměř zanedbatelné. Výsledné hodnoty neklesají pod hodnotu 0,830. Z toho vyplývá, že navržený algoritmus je proti šumu typu Speckle robustní.



Obrázek 89: Grafické znázornění výsledných hodnot indexu strukturální podobnosti pro 5 snímků s aplikovaným Speckle šumem.

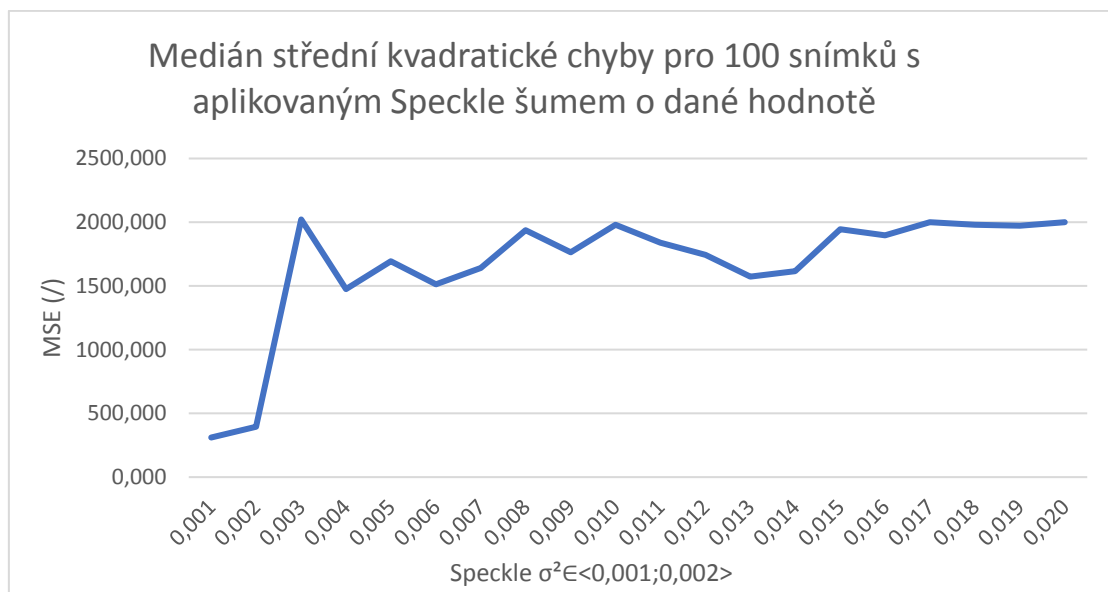


Obrázek 90: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným Speckle šumem.

Index strukturální podobnosti (Obrázek 89, Obrázek 90) se pro snímky s aplikovaným Speckle šumem pohybuje ve vysokých hodnotách. Výsledné hodnoty neklesají pod hodnotu 0,840 a od hodnoty rozptylu Speckle šumu 0,003 jsou výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti nejvíce stabilní oproti jiným aplikovaným šumům.



Obrázek 91: Grafické znázornění výsledných hodnot střední kvadratické chyby pro 5 snímků s aplikovaným Speckle šumem.



Obrázek 92: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným Speckle šumem.

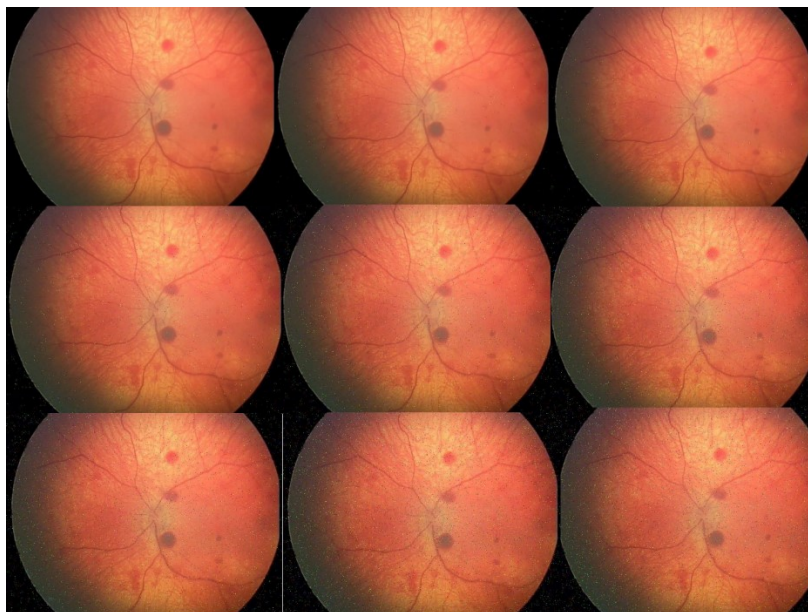
Medián střední kvadratické chyby (Obrázek 91, Obrázek 92) má zpočátku rostoucí charakter, následně se střídá klesajících a rostoucí charakter. Ale celkový trend mediánu střední kvadratické chyby je rostoucí. To tedy odpovídá předpokladu, že střední kvadratická chyba roste se zvyšujícími se hodnotami rozptylu Speckle šumu.

11.4 Salt and Pepper šum

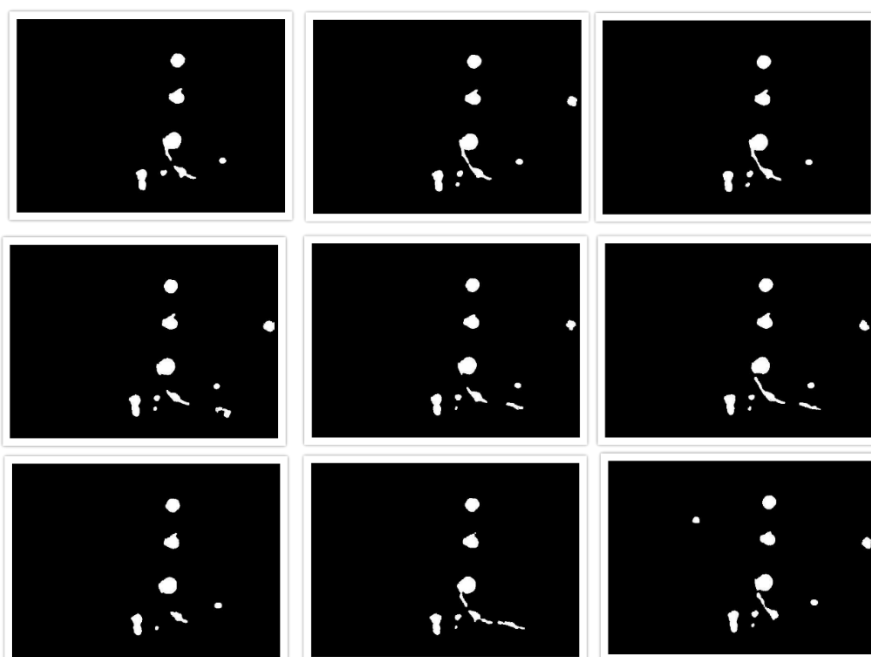
Šum typu Salt and Pepper se vyznačuje přidáním jasných pixelů s hodnotou 255 a tmavých pixelů s hodnotou 0 do celého originálního snímku. Často bývá označován názvem impulsní šum, v reálu vzniká poruchou obrazového signálu. Aplikace šumu Salt and Pepper byla provedena v prostředí MATLAB (Obrázek 93, Obrázek 94), kde byla nastavena hustota šumu d v rozmezí $\langle 0,001; 0,020 \rangle$ s krokem 0,001. A následně byl aplikován dle rovnice (11.7):

$$J = d * \text{počet pixelů } I \quad (11.7)$$

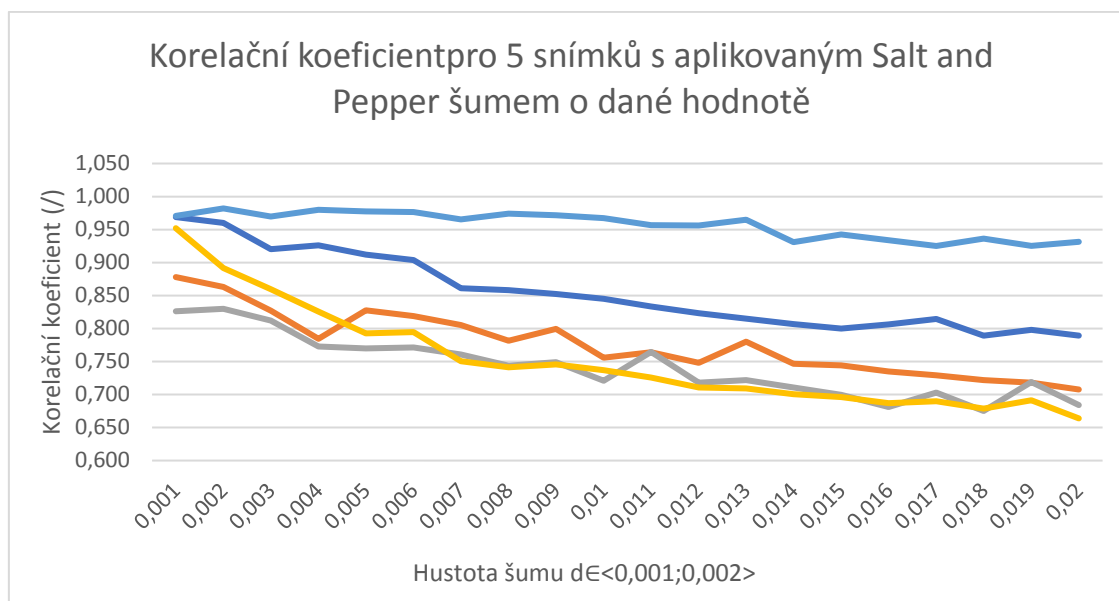
Kde J je nový snímek s aplikovaným šumem, d je hustota šumu, a I je originální snímek. [28]



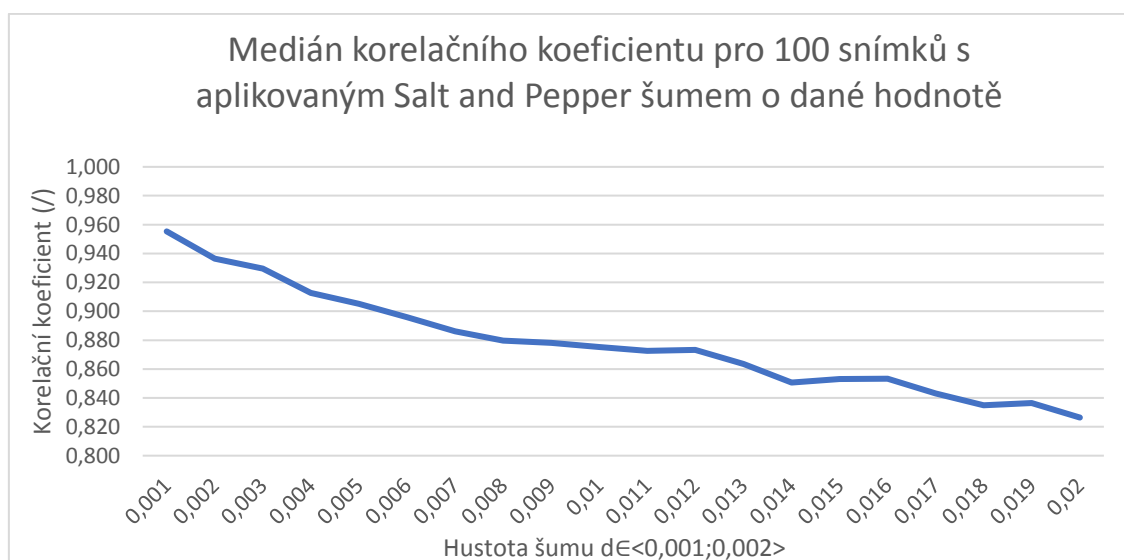
Obrázek 93: Snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem, zleva originální snímek a dále snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem s hustotou šumu $d=0,001$; $0,002$; $0,004$; $0,008$; $0,010$; $0,013$; $0,017$; $0,020$.



Obrázek 94: Výsledné masky retinálních lézí po aplikaci navrženého segmentačního algoritmu na snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem, zleva maska retinálních lézí z originálního snímku a dále masky retinálních lézí ze snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem s hustotou šumu $d=0,001$; $0,002$; $0,004$; $0,008$; $0,010$; $0,013$; $0,017$; $0,020$.

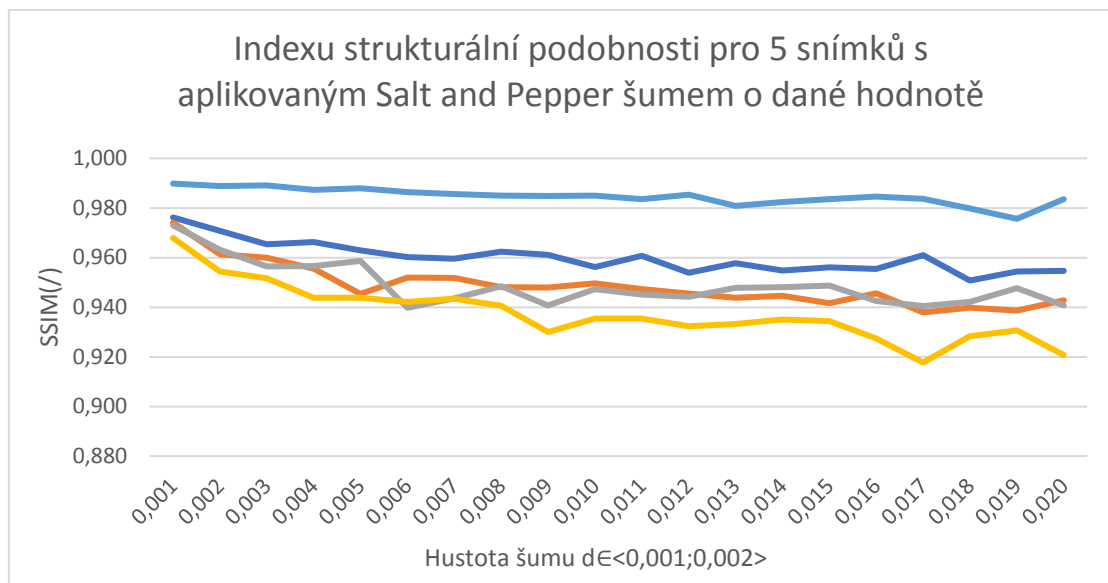


Obrázek 95: Grafické znázornění výsledných hodnot korelačního koeficientu pro 5 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

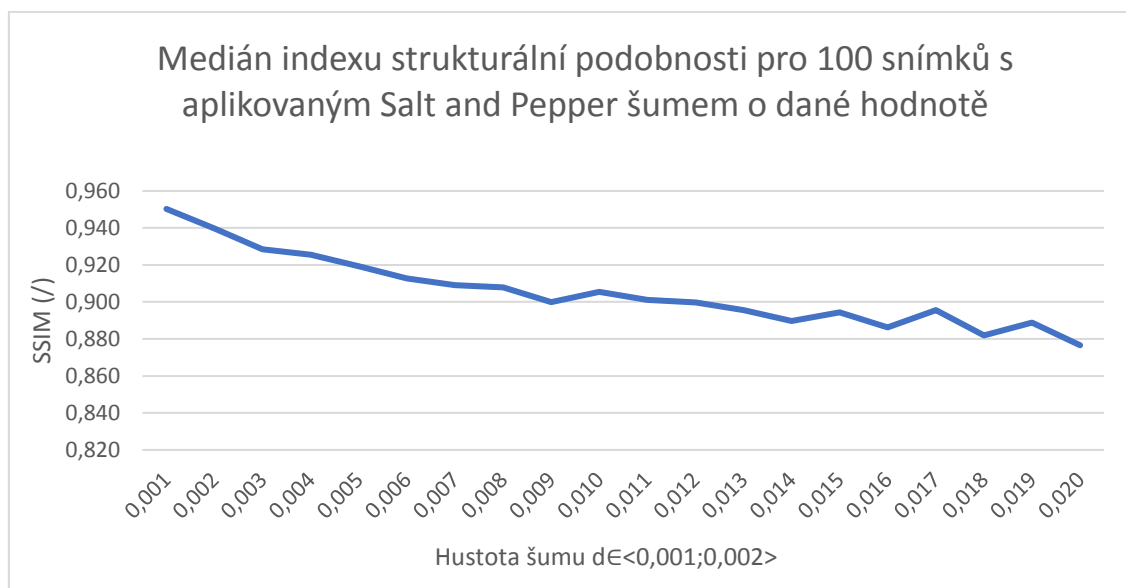


Obrázek 96: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

Korelační koeficient (Obrázek 95, Obrázek 96) pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem vykazuje klesající trend. Výsledné hodnoty se pohybují od 0,950 do 0,830. Z těchto výsledných hodnot je možné usuzovat, že i když je trend korelačního koeficientu klesající, dosahuje i při nejvyšších hodnotách hustoty Salt and Pepper šumu poměrně vysokých hodnot korelačního koeficientu.

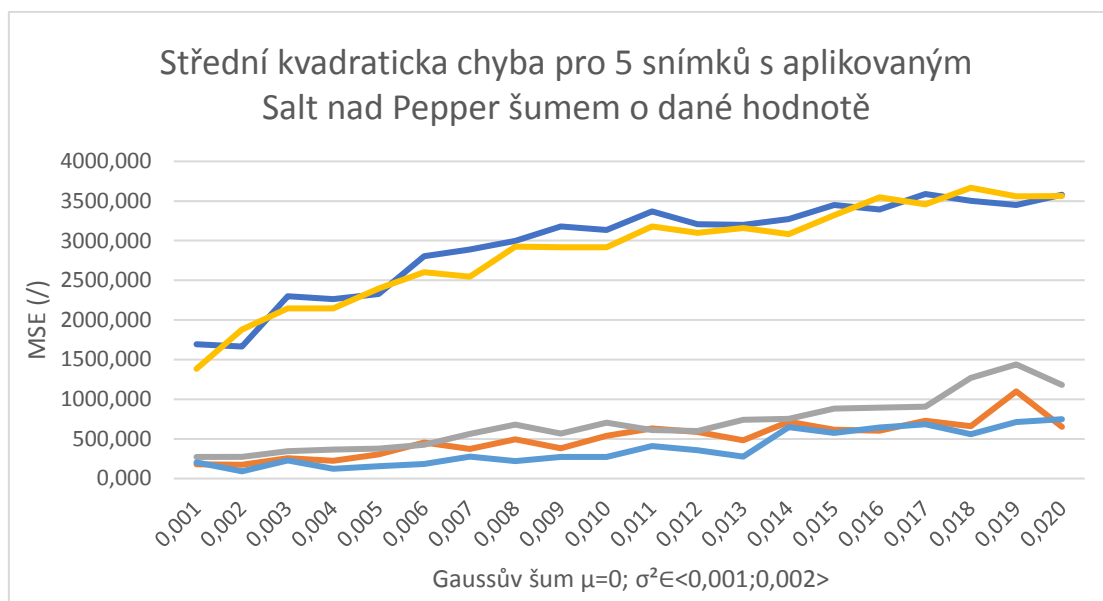


Obrázek 97: Grafické znázornění výsledných hodnot indexu strukturální podobnosti pro 5 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

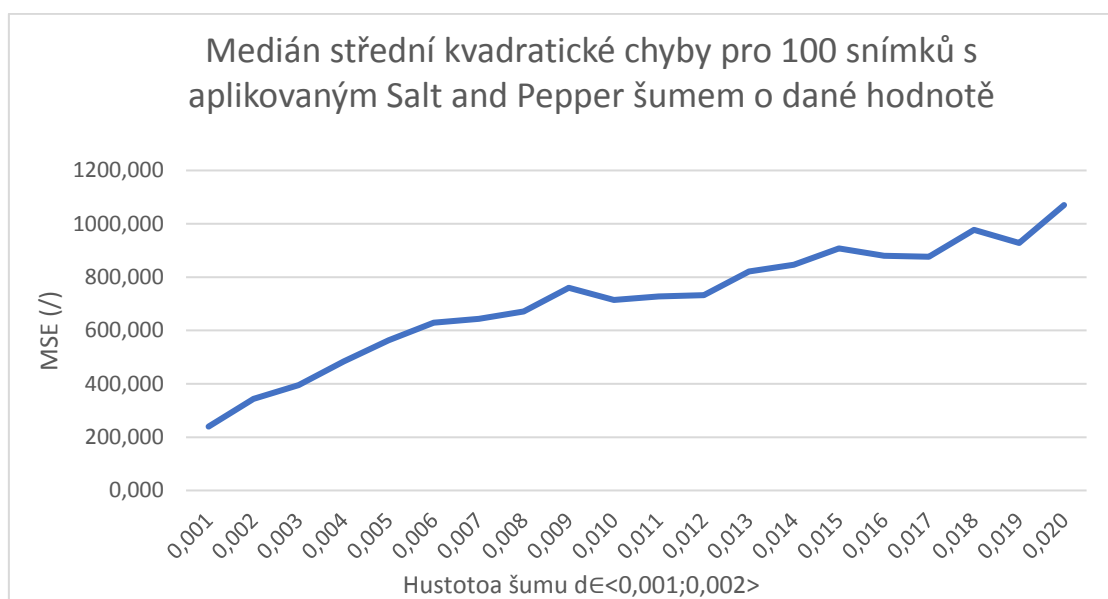


Obrázek 98: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

Navržený algoritmus vykazuje jednoznačně nejlepší výsledky indexu strukturální podobnosti (Obrázek 97, Obrázek 98) pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem. Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti neklesají pod 0,880. Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti klesají na intervalu změny hustotou šumu $(0,001; 0,020]$ pouze o 0,070. Proto je možné konstatovat, že vůči šumu typu Salt and Pepper je navržený algoritmus stabilní.



Obrázek 99: Grafické znázornění výsledných hodnot střední kvadratické chyby pro 5 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

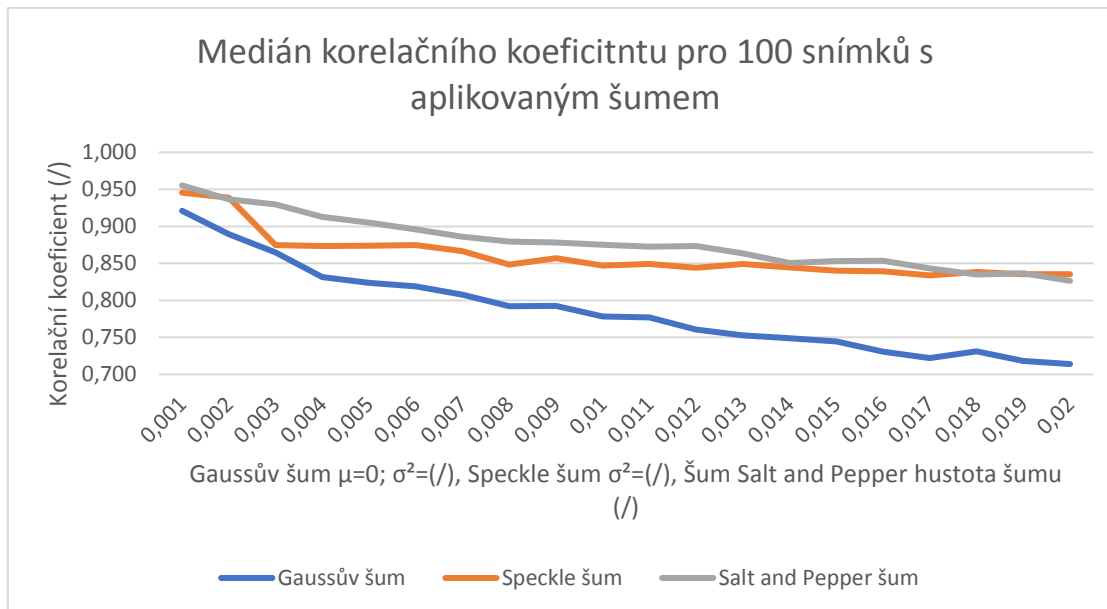


Obrázek 100: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

Střední kvadratická chyba (Obrázek 99, Obrázek 100) vykazuje rostoucí charakter v závislosti na rostoucí hustotě Salt and Pepper šumu. Jelikož střední kvadratická chyba udává rozdíl mezi pixely originálního snímku a pixely snímku s aplikovaným šumem, odpovídají výsledky předpokládané hypotéze. Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby jsou jednoznačně nejnižší, oproti ostatním aplikovaným šumům. Z toho vyplývá, že navržený algoritmus se nejlépe adaptuje na snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

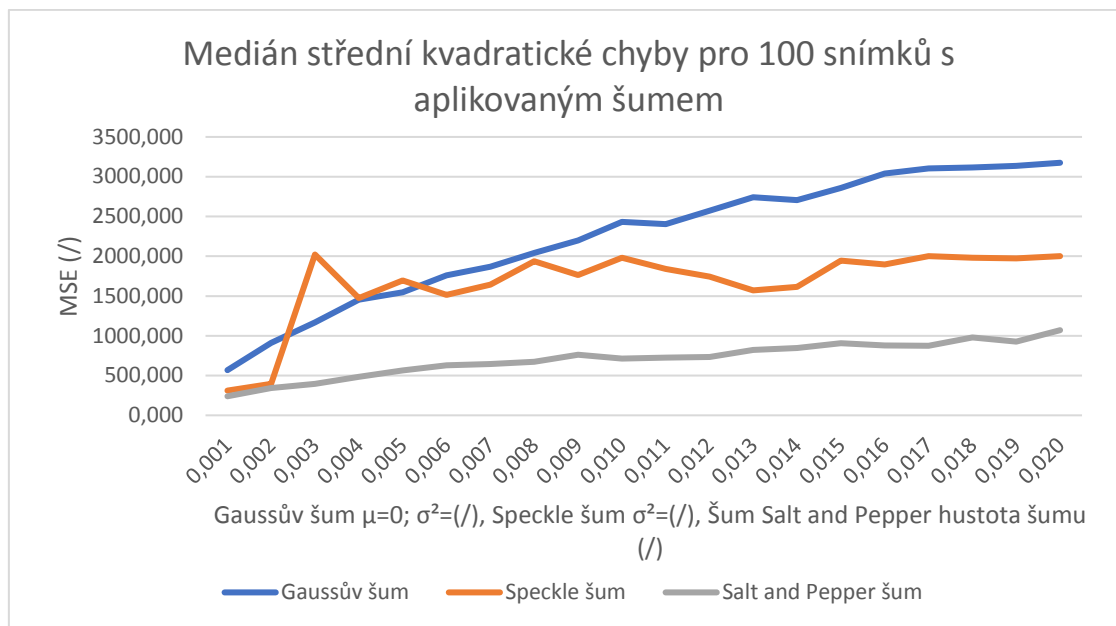
11.5 Kvantitativní analýza robustnosti navržené procedury

V následujících třech grafech jsou vždy vyobrazeny výsledné hodnoty SSIM, MSE a korelačního koeficientu pro všechny tři aplikované šumy.



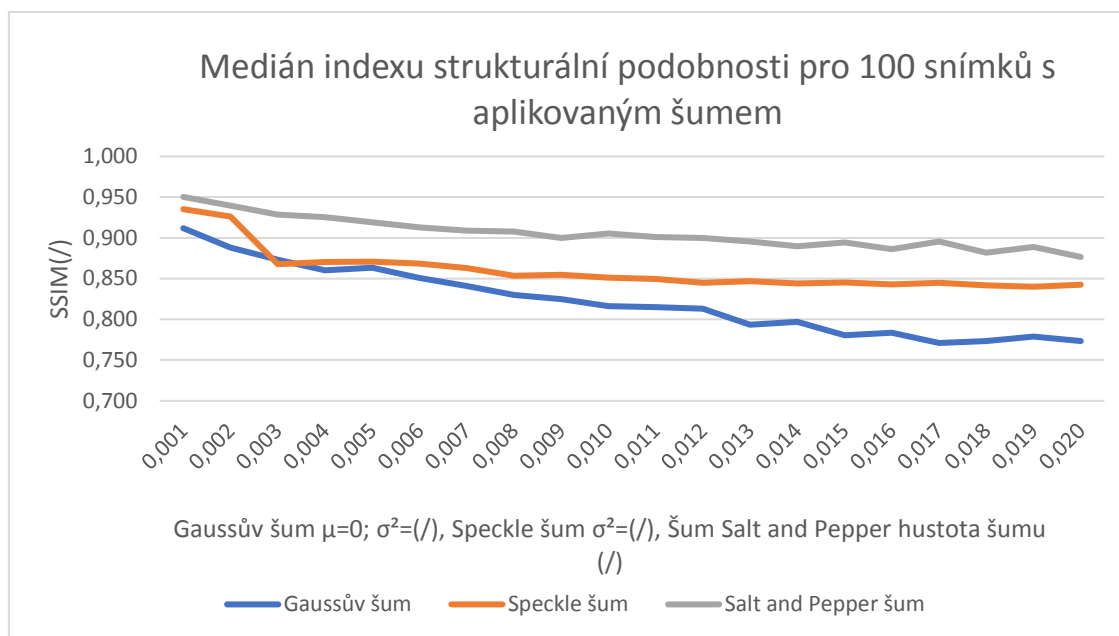
Obrázek 101: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu korelačního koeficientu pro 100 snímků s aplikovaným šumem.

Korelační koeficienty (Obrázek 101) pro všechny tři aplikované šumy má klesající charakter. Což nám potvrzuje naši hypotézu, že s rostoucím šumem klesá kvalita segmentace. Korelační koeficienty pro nejnižší nastavené hodnoty šumů se pohybují okolo 0,950, avšak korelační koeficienty pro nejvyšší hodnoty nastavení šumů se od sebe již liší, výrazně se liší korelační koeficient pro Gaussovský šum. Hodnoty korelačního koeficientu pro šum typu Speckle a Salt and Pepper mají podobný tvar výsledné přímky. Tudíž je možné konstatovat, že navržený algoritmus se dobře adaptuje na šum typu Salt and Pepper a Speckle. Při aplikaci Gaussovského šumu vykazuje navržený algoritmus již horší výsledky, ale globálně je možné říct, že hodnota 0,700 je stále velmi kvalitní.



Obrázek 102: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu střední kvadratické chyby pro 100 snímků s aplikovaným šumem

Střední kvadratická chyba (Obrázek 102) má pro všechny tři druhy testovaných šumů rostoucí charakter. To odpovídá hypotéze, že s rostoucím šumem, roste i střední kvadratická chyba. Nejvyšší střední kvadratickou chybu vykazují snímky s aplikovaným Gaussovským šumem, následují snímky s aplikovaným Speckle šumem a nejnižší střední kvadratickou chybu mají snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem. Střední kvadratická chyba má u snímků s aplikovaným Gaussovským a Salt and Pepper šumem lineárně rostoucí charakter, avšak u snímků se Speckle šumem vykazuje výsledná křivka střední kvadratické chyby nepravidelné výkyvy.



Obrázek 103: Grafické znázornění výsledných hodnot mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků s aplikovaným šumem

Index strukturální podobnosti (Obrázek 103) udává strukturální (jas, kontrast, textura) rozdíl mezi originálním snímkem a snímkem s aplikovaným šumem. Z vybraných hodnotících parametrů SSIM, MSE a korelační koeficientu, odpovídají výsledky indexu strukturální podobnosti nejvíc subjektivnímu vizuálnímu hodnocení. Z grafu je patrné, že výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti mají jen mírně klesající charakter, dá se dokonce říct, že pro vyšší hodnoty šumu je index strukturální podobnosti téměř lineární. Z těchto výsledků je možné usoudit, že navržený algoritmus je stabilní na aplikované šumy.

12 Vyhodnocení velikosti retinálních lézí vůči velikosti optického disku

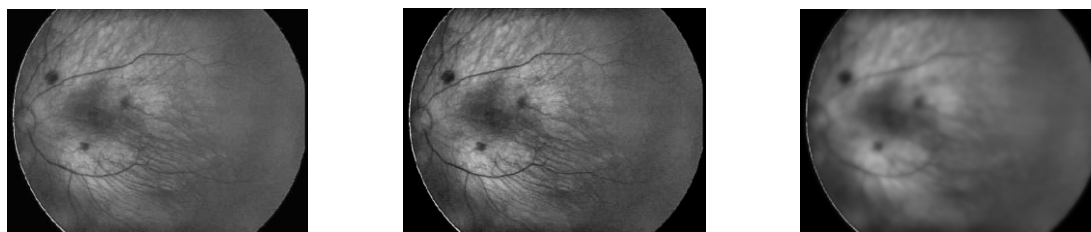
V poslední fázi testování navrženého algoritmu je provedeno porovnání velikosti nalezených retinálních lézí vůči velikosti optického disku. Retinální léze mění svůj tvar a velikost v průběhu onemocnění na rozdíl od optického disku, který má stabilní vlastnost. Proto byl optický disk zvolen jako referenční bod pro měření vývoje velikosti a tvaru retinálních lézí.

Pro vyhodnocení velikosti optického disku je využit algoritmus fungující na principu aktivních kontur. V první fázi je provedeno předzpracování snímku (Obrázek 104) retiny z RetCam o velikosti 640 x 480 pixelů. V prvním kroku dochází k výběru chrominanční složky, struktury jsou nejlépe viditelné při použití kombinace červené a zelené chrominanční složky a potlačení modré chrominanční složky. Následně je snímek převeden na monochromatický snímek ve šedo tónové škále (Obrázek 104). [29]

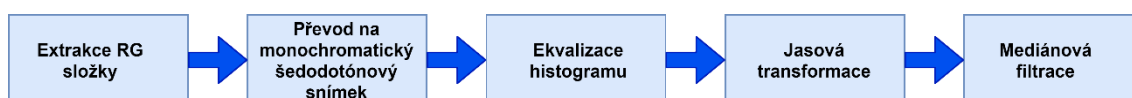


Obrázek 104: Původní snímek, snímek s kombinací červené a zelené chrominanční složky, monochromatický snímek v šedo tónové škále.

Na monochromatický snímek v šedo tónové škále je aplikována ekvalizace histogramu, pomocí které dojde k upravení kontrastu snímku a zvýraznění analyzovaných struktur snímku. Následuje bodová jasová transformace, kdy je výstupní hodnota nového pixelu vypočtena pouze z hodnot daného pixelu. Bodová jasová transformace je použita ke korekci nehomogenit osvětlení a kontrastu. Posledním krokem předzpracování snímku je filtrace. Jsou použity vyhlazovací filtry, které slouží k potlačení šumu (potlačení vyšších frekvencí v obraze), avšak je důležité zachování hran a detailů snímku. V tomto případě byla použita mediánová filtrace (Obrázek 105). [29]



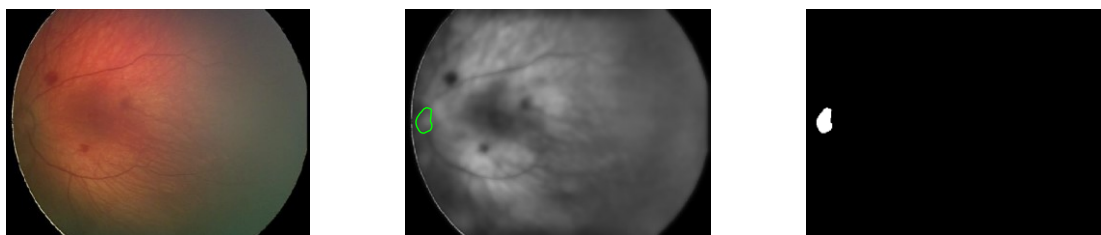
Obrázek 105: Ekvalizace histogramu (vlevo), bodová jasová transformace (uprostřed), mediánová filtrace (vpravo).



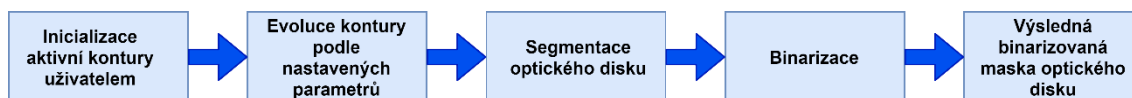
Obrázek 106: Vývojový diagram předzpracování snímku pro segmentaci optického disku.

Na předzpracované snímky je aplikována metoda geometrických aktivních kontur (Obrázek 106). Je důležité v prvním kroku správně označit inicializační bod. Na základě působení vnitřní (odpovídá za hladkost kontury), vnější (pracuje s lokálními minimy) a obrazové energie (tvaruje konturu k liniím a hranám objektu) se kontura deformuje do tvaru segmentovaného útvaru. U metody geometrických aktivních kontur je důležité nastavit několik nezbytných parametrů, počet iteračních kroků, časový krok posunu křivky, neodchýlení křivky od své pozice během evoluce, důraz na energii obrazu a délku kontury. [29]

Posledním krokem pro segmentaci optického disku je binarizace (Obrázek 107). Pixely vymezeny aktivní konturou jsou definovány jako oblast zájmu a v binárním snímku jsou reprezentovány bílou barvou (hodnota 1). Ostatní pixely snímku jsou definovány jako pozadí snímku a jsou reprezentovány černou barvou (hodnota 0) (Obrázek 104). [29]

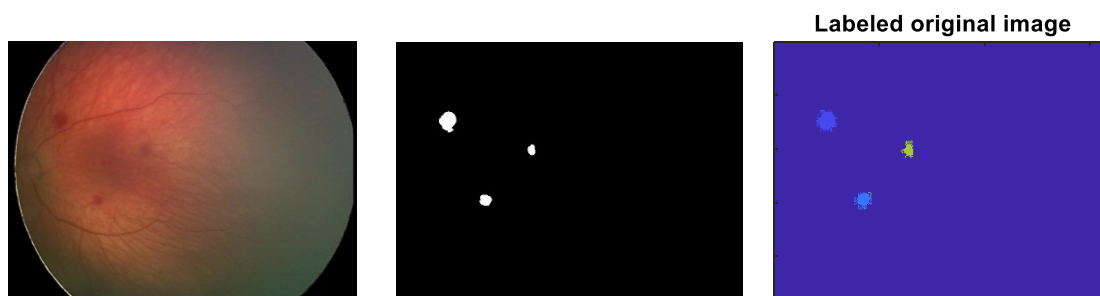


Obrázek 107: Původní snímek (vlevo), segmentace optického disku pomocí aktivní kontury (uprostřed), binarizace maska optického disku (vpravo).

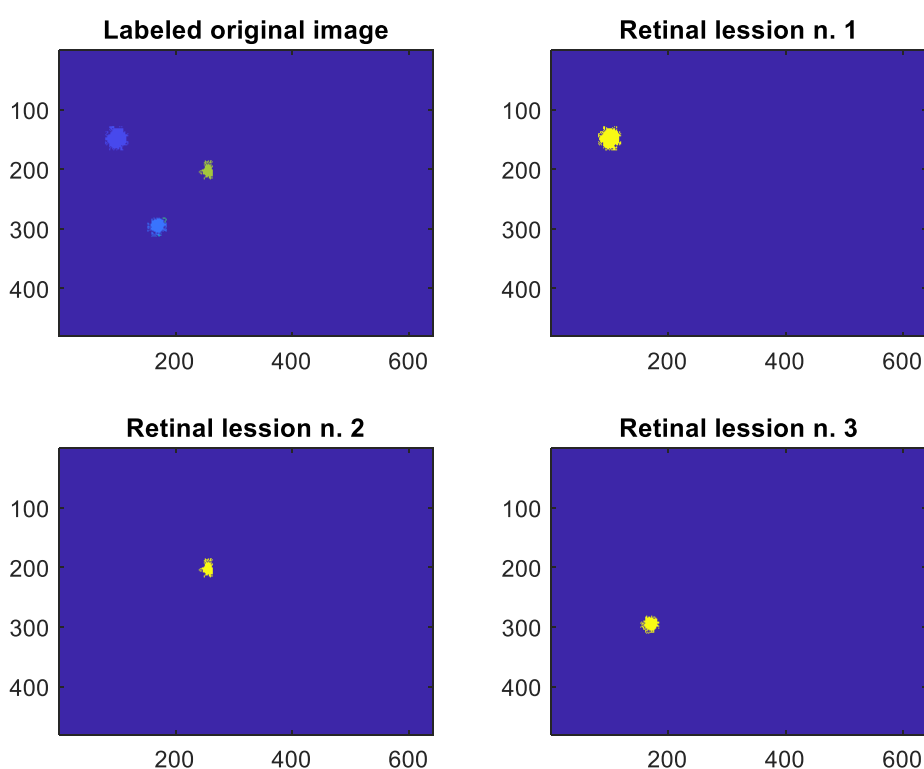


Obrázek 108: Vývojový diagram segmentace optického disku.

Segmentace retinálních lézí je provedena pomocí již výše zmíněného algoritmu. Na výstupu segmentačního algoritmu je binární obraz retinálních lézí. Následně je důležité jednotlivé retinální léze od sebe odlišit (Obrázek 108). K označení jednotlivých retinálních lézí je použita funkce labelování, která prochází pixel po pixelu, pokud narazí na hodnotu nula, hodnotu zachová a identifikuje ji jako pozadí. Pokud detekuje hodnotu 1, přiřadí jí dané pořadí objektu dle předem nastaveného okolí. Proto pixely jednotlivých retinálních lézí mají stejnou hodnotu a dojde díky tomu k diferencování retinálních lézí. Každá retinální léze je vyznačena jinou barvou. Díky této funkci můžeme pracovat s každou retinální lézí zvlášť a změřit její potřebné parametry. Pro práci s jednotlivými retinálními lézemi jsou zbylé léze označeny za pozadí, je jim přidělena hodnota 0 (Obrázek 113).



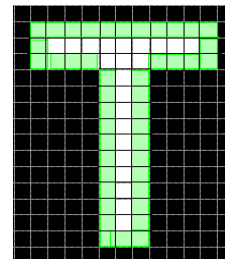
Obrázek 109: Ořez retinálního snímku (vlevo), binární snímek segmentace retinálních lézí (uprostřed), označení jednotlivých retinálních lézí (vpravo).



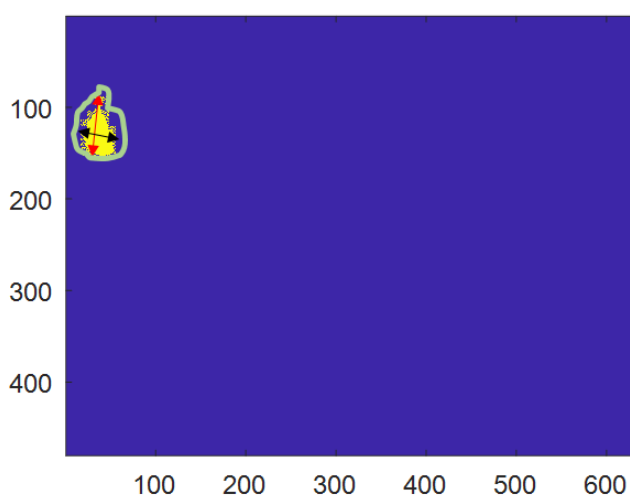
Obrázek 110: Rozdělení jednotlivých retinálních lézí do samostatných snímků.

Díky rozdělení jednotlivých retinálních lézí do samostatných snímků (Obrázek 110) je možné změřit jejich parametry, obsah, délku hlavní a vedlejší osy a obvod. A stejným způsobem změřit i stejné parametry pro optický disk. Parametry byly změřeny v prostředí MATLAB pomocí funkce `regionprops` s parametry `area`, `majoraxislength`, `minoraxislength`, `perimeter` (Obrázek 112).

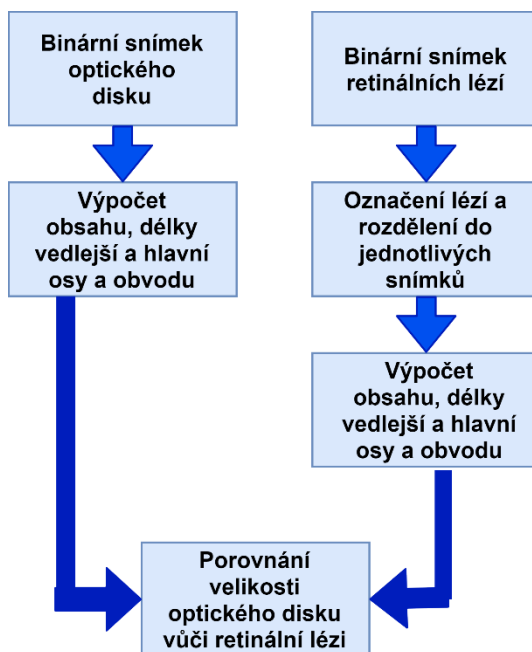
- Area – výsledek je ve formě skalární veličiny, určující počet pixelů v dané oblasti.
- MajorAxisLength – výsledek ve formě skalární veličiny, určující délku hlavní osy elipsy v pixelech.
- MinorAxisLength – výsledek ve formě skalární veličiny, určující délku vedlejší osy elipsy v pixelech.
- Perimeter – výsledek ve formě skalární veličiny, určující obvod oblasti, vypočtený jako vzdálenost mezi každou sousední dvojicí pixelů kolem hranice oblasti (Obrázek 113).



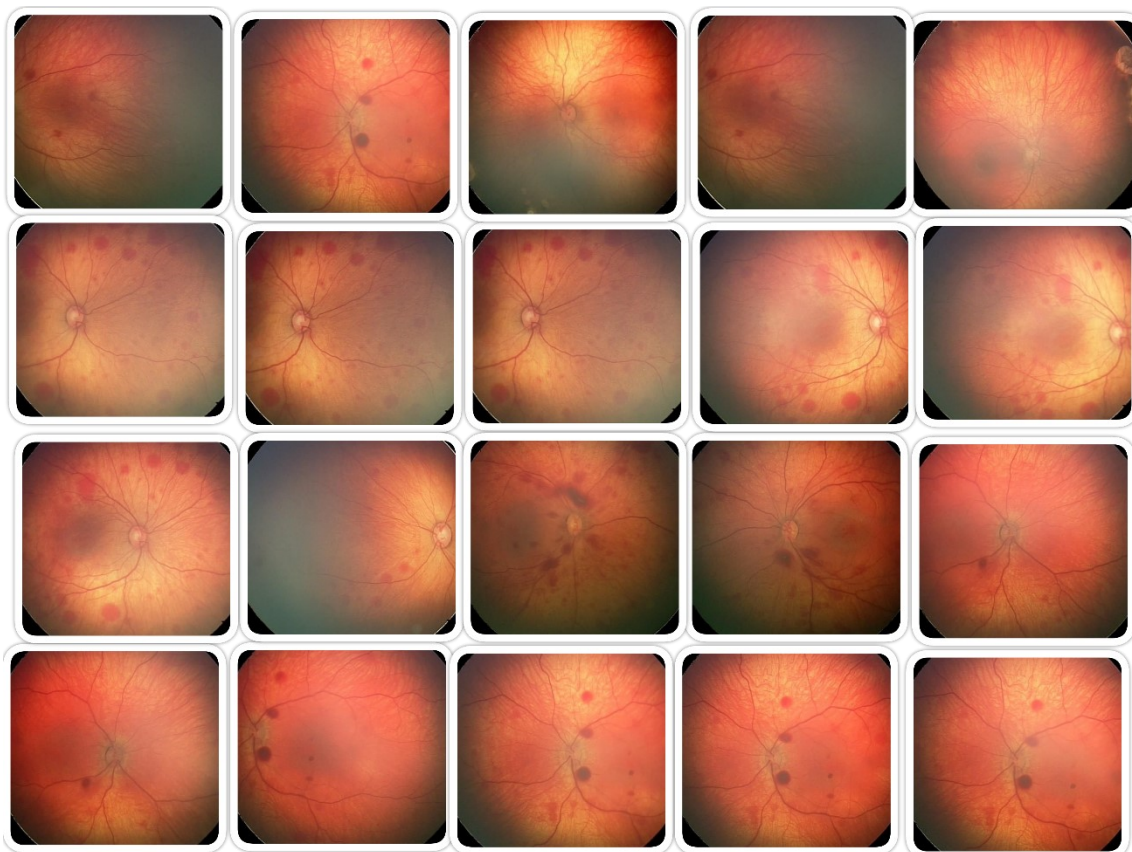
Obrázek 111: Zelené pixely prezentují pixely použité pro výpočet obvodu. [23]



Obrázek 112: Červená přímka znázorňuje délku hlavní osy (*MajorAxisLength*), černá přímka znázorňuje délku vedlejší osy (*MinorAxisLength*), zelená křivka znázorňuje obvod oblasti (*Perimeter*) a žlutá oblast je obsah (*Area*) retinální léze.



Obrázek 113: Vývojový diagram porovnání velikosti retinálních lézí vůči optickému disku.



Obrázek 114: Matice dvaceti testovaných snímků.

Tabulka 6 Výsledné hodnoty pro jednotlivé retinální léze a optické disky.

Image	Retinal lesion	Area (px)	Major Axis Length (px)	Minor Axis Length (px)	Perimeter (px)	Léze/disk (%)
Disk		425,00	27,43	20,15	74,17	
1	1	1041,00	38,73	37,28	262,75	244,94%
	2	415,00	31,53	21,02	178,45	97,65%
	3	551,00	29,60	27,19	254,90	129,65%
Disk		420,00	42,54	17,13	101,48	
2	1	1071,00	40,15	36,89	272,05	255,00%
	2	1254,00	45,46	40,33	298,23	298,57%
	3	175,00	17,01	16,81	97,01	41,67%
	4	1250,00	63,87	29,23	373,65	297,62%
	5	3043,00	144,73	54,83	871,54	724,52%
	6	665,00	32,12	30,87	243,96	158,33%
	7	383,00	25,58	24,86	158,37	91,19%
	8	341,00	26,16	22,13	210,40	81,19%
Disk		266,00	22,06	15,80	58,61	
3	1	1517,00	62,40	37,17	409,09	570,30%
	2	3744,00	213,35	46,15	1124,74	1407,52%
	3	232,00	26,06	16,90	137,31	87,22%
	4	163,00	18,46	16,08	95,28	61,28%
	5	2101,00	167,22	46,90	955,13	789,85%
Disk		483,00	34,97	18,71	86,16	
4	1	1089,00	41,63	37,12	261,51	225,47%
	2	501,00	29,78	24,37	180,87	103,73%
	3	344,00	26,86	20,54	192,42	71,22%
Disk		418,00	24,15	22,47	71,97	
5	1	178,00	24,05	15,56	144,24	42,58%
	2	345,00	25,98	21,05	189,58	82,54%
	3	259,00	26,20	20,30	175,84	61,96%
	4	152,00	22,66	14,98	147,82	36,36%
	5	8219,00	342,08	56,58	2038,65	1966,27%
Disk		233,00	19,12	16,07	54,09	
6	1	644,00	31,85	30,96	262,86	276,39%
	2	581,00	57,11	18,54	272,70	249,36%
	3	2403,00	100,92	50,02	695,01	1031,33%
	4	164,00	17,81	16,40	115,94	70,39%
	5	1123,00	39,80	39,70	275,34	481,97%
	6	460,00	25,94	25,47	136,89	197,42%
	7	1038,00	38,83	37,27	282,52	445,49%
Disk		249,00	20,62	16,03	57,09	

Vyhodnocení velikosti retinálních lézí vůči velikosti optického disku

7	1	1527,00	48,26	43,40	376,58	613,25%
	2	4222,00	170,28	68,94	1388,01	1695,58%
	3	2272,00	88,61	41,58	606,26	912,45%
	4	363,00	26,53	21,13	164,60	145,78%
	5	1194,00	41,53	39,40	257,60	479,52%
	6	1064,00	40,10	37,56	231,45	397,01%
Disk		268,00	20,74	17,23	59,54	
8	1	2450,00	87,80	51,10	582,71	914,18%
	2	4445,00	223,30	78,69	1452,52	1658,58%
	3	45,00	9,35	7,57	33,45	16,79%
	4	1587,00	47,76	44,75	364,43	592,16%
	5	336,00	23,03	21,87	132,88	125,37%
	6	630,00	31,96	29,41	201,95	235,07%
	7	1164,00	41,14	37,95	289,65	434,33%
	8	1081,00	41,04	37,23	273,45	403,36%
Disk		268,00	20,74	17,23	59,54	
9	1	830,00	34,61	33,45	192,46	309,70%
	2	647,00	32,19	30,30	254,32	273,00%
	3	453,00	32,88	20,99	173,92	191,14%
	4	245,00	26,31	16,74	135,46	103,38%
	5	3188,00	98,53	65,13	614,48	1345,15%
	6	617,00	61,12	17,50	265,78	260,34%
	7	218,00	21,88	17,39	130,38	91,98%
	8	1508,00	49,87	41,29	372,00	636,29%
	9	838,00	38,16	31,95	291,01	353,59%
	10	607,00	33,39	25,78	185,58	256,12%
Disk		221,00	18,05	15,87	50,85	
10	1	640,00	31,27	30,30	230,56	289,59%
	2	486,00	27,16	24,50	148,03	219,91%
	3	323,00	26,79	19,32	142,70	146,15%
	4	2215,00	89,55	65,76	745,06	1002,26%
	5	648,00	31,32	30,56	252,82	293,21%
	6	939,00	46,33	29,47	299,86	424,89%
	7	219,00	24,30	16,44	152,18	99,10%
Disk		580,00	38,98	20,72	100,46	
11	1	2062,00	82,29	37,77	516,58	355,52%
	2	505,00	26,87	25,24	117,48	87,07%
	3	1168,00	42,49	39,37	343,13	201,38%
	4	264,00	24,56	16,92	105,99	45,52%
	5	792,00	34,48	32,09	234,53	136,55%
	6	604,00	40,83	21,90	215,01	104,14%
	7	892,00	45,56	32,37	287,94	153,79%
	8	564,00	59,67	17,96	295,12	97,24%

Vyhodnocení velikosti retinálních lézí vůči velikosti optického disku

	9	959,00	39,03	33,50	250,61	165,34%
	10	195,00	25,00	13,65	142,04	33,62%
	11	297,00	22,62	22,15	157,47	51,21%
Disk		312,00	21,37	19,42	62,93	
12	1	553,00	31,03	27,23	179,72	177,24%
	2	496,00	29,13	24,93	159,57	158,97%
	3	259,00	25,01	17,49	166,81	83,01%
	4	482,00	34,59	20,94	209,82	154,49%
	5	916,00	50,19	31,90	323,93	293,59%
Disk		487,00	29,97	20,84	77,98	
13	1	735,00	46,39	23,40	227,10	150,92%
	2	715,00	31,92	31,52	175,31	146,82%
	3	822,00	37,45	31,34	266,49	168,79%
	4	515,00	30,26	24,51	179,62	105,75%
	5	1043,00	45,67	34,59	298,14	214,17%
	6	144,00	17,75	16,64	120,09	29,57%
	7	931,00	39,40	33,58	273,64	191,17%
	8	2077,00	86,24	44,72	565,97	496,89%
Disk		418,00	29,68	18,99	77,02	
14	1	71,00	11,73	8,57	36,35	16,99%
	2	151,00	17,99	16,25	98,40	36,12%
	3	885,00	41,49	32,97	260,00	211,72%
	4	155,00	23,22	15,05	127,37	37,08%
	5	843,00	42,02	28,86	289,14	201,67%
	6	1134,00	45,68	35,98	362,51	271,29%
	7	1603,00	62,12	41,44	409,98	383,49%
	8	1757,00	57,29	42,63	392,91	420,33%
	9	458,00	33,13	22,45	234,07	109,57%
	10	1002,00	65,41	24,28	286,18	239,71%
	11	573,00	40,05	22,78	194,72	137,08%
Disk		596,00	39,86	22,55	109,79	
15	1	102,00	17,57	9,61	63,96	17,11%
	2	1096,00	48,14	32,31	253,24	183,89%
	3	491,00	37,13	21,49	213,60	82,38%
	4	307,00	22,94	22,77	170,58	51,51%
Disk		743,00	40,86	25,97	120,12	
16	1	1081,00	52,13	29,88	298,14	145,49%
	2	421,00	36,57	21,82	256,88	56,66%
	3	317,00	29,74	16,75	122,01	42,66%
	4	375,00	25,47	21,68	158,49	50,47%
Disk		364,00	29,58	16,10	71,57	
17	1	1106,00	40,51	37,81	324,68	303,85%
	2	1435,00	53,56	40,30	356,54	394,23%

Vyhodnocení velikosti retinálních lézí vůči velikosti optického disku

	3	252,00	23,47	17,67	121,19	69,23%
	4	1827,00	54,53	45,49	382,50	501,92%
	5	285,00	25,33	17,12	135,84	78,30%
	6	989,00	83,79	21,53	332,70	271,70%
Disk		405,00	40,16	17,18	99,89	
18	1	1038,00	38,16	37,58	257,71	256,30%
	2	858,00	37,68	31,21	247,36	211,85%
	3	3448,00	162,78	58,04	942,96	851,36%
	4	359,00	26,09	20,23	148,34	88,64%
	5	281,00	23,46	18,59	135,78	69,38%
	6	159,00	17,66	16,92	91,28	39,26%
	7	1222,00	61,80	30,07	353,92	301,73%
Disk		453,00	46,38	16,91	109,48	
19	1	1020,00	38,05	36,94	251,71	225,17%
	2	1096,00	40,72	37,42	277,49	241,94%
	3	502,00	31,54	24,53	204,48	110,82%
	4	250,00	24,72	17,12	144,86	55,19%
	5	344,00	25,51	20,36	139,91	75,94%
	6	2668,00	124,60	51,25	759,54	588,96%
	7	76,00	18,06	9,06	61,84	16,78%
	8	816,00	51,84	25,59	224,41	180,13%
Disk		387,00	38,45	17,09	91,15	
20	1	1089,00	39,11	38,08	296,28	281,40%
	2	1080,00	42,32	36,33	265,84	279,07%
	3	1625,00	53,49	40,51	325,13	419,90%
	4	269,00	22,93	22,30	162,34	69,51%
	5	324,00	23,48	22,64	137,08	83,72%
	6	923,00	76,31	19,72	354,32	238,50%
	7	327,00	25,50	21,10	175,17	84,50%
	8	140,00	18,09	16,47	92,60	36,18%

Výsledky pro všechny testované snímky (Obrázek 114) byly zapsány do tabulky (Tabulka 6). Pro každou retinální lézi byl zjištěn její obsah, délka hlavní a vedlejší osy a obvod v pixelech, stejné parametry byly zjištěny i pro optický disk dané retiny. Ze získaných výsledků se dopočetlo procentuální zastoupení retinální léze vůči optickému disku. Z výsledku je patrné, že v mnoha případech jsou retinální léze mnohonásobně větší než samotný optický disk. Nejmenší retinální léze zaujímala 19, 78 % optického disku, naopak největší retinální léze zaujímala 1966, 27 % optického disku.

Závěr

Počet předčasně narozených dětí každoročně roste. Retinopatie nedonošených se projevuje především u těchto předčasně narozených dětí s nízkou porodní váhou, které jsou po narození umístěny do inkubátoru, kde kvůli hyperoxii dochází k patologickému vývoji cévního systému sítnice a vzniku krvácivých skvrn, nazývaných retinální léze. Vzhledem k tomuto faktu roste každoročně i počet potřebných vyšetření sítnice u těchto předčasně narozených dětí. Vyhodnocení vyšetření nyní provádí manuálně sám lékař. Velkou výhodou navrhovaného algoritmu je plně automatické vyhodnocení snímků, které by mohlo lékařům ušetřit mnoho potřebného času.

K vývoji a testování navrhovaného algoritmu byla poskytnuta databáze 2 794 snímků z přístroje Retcam z Oční kliniky Fakultní nemocnice Ostrava. Snímky byly od 80 subjektů, 40 žen a 40 mužů. Gestační věk subjektů při narození se pohyboval v rozmezí 24-41 týdnů. Porodní váha testovaných subjektů se pohybovala v rozmezí od 540 g do 4 040 g, v databázi bylo zastoupeno více subjektů s nižší porodní váhou.

Nejnovější trendy v klinické oftalmologii se zabývají automatickými metodami pro extrakci patologických příznaků. Automatické metody přinášejí přesnější výsledky oproti subjektivní extrakci patologických příznaků a zároveň šetří potřebný čas lékařům. V této práci jsou nejnovější trendy následovány a byl navržen algoritmus s prvky umělé inteligence na bázi semi supervizorní klasifikace umožňující on-line učení a automatickou identifikaci retinálních lézí bez vstupu uživatele. Originální snímky z RetCamu jsou nejprve předzpracovány. Extrahovaná zelená chrominanci složka snímku je převedena do snímku v šedo tónové škále. Zde se navržený algoritmus větví do dvou větví. V první z nich je na snímek aplikována mediánová filtrace pro odstranění šumu a vyhlazení snímku a následně aplikována blob detekce s použitím extrakce SURF příznaků. Ve druhé větvi je na snímek ve stupních šedi aplikována binarizace s lokálně-adaptivním prahem, kde bílá barva označuje oblasti zájmu a pozadí je černé. Pro zlepšení kvality výsledného snímku je na binární snímek použita mediánová filtrace a morfologická operace eroze. Následně dojde k porovnání výsledků obou větví algoritmu a jsou zachovány pouze ty bílé oblasti, které byly detekovány jak pomocí blob detekce tak pomocí adaptivní binarizace. Další částí navrženého algoritmu je semi supervizorní klasifikace. Nejprve je potřeba vytvořit pro klasifikátor trénovací množinu z masky vytvořené po adaptivní binarizaci, z této masky jsou extrahovány morfologické příznaky retinálních lézí, které jsou poté využity i při semi supervizorní klasifikaci. Po klasifikaci na principu k-menas shlukové analýzy jsou vytvořeny dva shluky, jeden je označen jako retinální léze dle nejvýznamnějších oblastí detekovaných pomocí detekce blob s použitím SURF, druhý je označen za pozadí. Následuje logická operace OR, kdy dojde ke sloučení masky vzniklé pomocí semi supervizorní klasifikace a masky vzniklé spojením adaptivní binarizace a detekce blob s použitím SURF. Posledním krokem je aplikace takto vzniklé masky retinálních lézí na původní snímek a segmentace retinálních lézí.

Nezbytným krokem při návrhu algoritmu je jeho testování. Pro testování efektivnosti bylo vybráno z databáze sto snímků. Byly porovnány výstupy z automatické segmentace s výstupy z manuální segmentace označené jako zlatý standard. Z výsledků je možno konstatovat, že navržený algoritmus segmentuje retinální léze správně s pravděpodobností 97,951 %. Pravděpodobnost chybného segmentování retinálních lézí pomocí navrženého algoritmu je 8,196 %. Většina chybně

segmentovaných lézí byly široké cévy, které algoritmus považoval za léze. V tomto směru by se dal algoritmus optimalizovat, jednalo by se o optimalizaci definice příznaků popisující retinální léze.

Další částí bylo rozsáhlé testování robustnosti navrženého algoritmu. Testování ukazuje, jak je navržený algoritmus stabilní. Opět bylo vybráno z databáze sto snímků, na které byly aplikovány tři druhy šumů – Gaussovský, Salt and Pepper a Speckle. Navíc bylo u každého šumu nastaveno dvacet různých úrovní tohoto šumu, to znamená, že bylo otestováno celkem 6000 odlišných snímků. Pro vyhodnocení rozdílů segmentace původních snímků a snímků s aplikovaným šumem byly použity tyto hodnotící parametry: střední kvadratická chyba, index strukturální podobnosti a korelační koeficient. Vždy byla porovnána výsledná maska retinálních lézí z původního snímku a výsledná maska retinálních lézí ze snímku s aplikovaným šumem. Korelační koeficient pro všechny tři aplikované šumy má mírně klesající charakter, hodnota korelačního koeficientu neklesá pod 0,7. Střední kvadratická chyba má naopak charakter rostoucí. To potvrzuje naši hypotézu, že se zvyšujícím se šumem roste i střední kvadratická chyba. Výsledné křivky mediánu indexu strukturální podobnosti pro 100 snímků mají téměř lineární charakter, neklesají pod hodnotu 0,75. Z výše popsaných výsledků je možné konstatovat, že navržený algoritmus je vůči aplikovanému šumu stabilní a nevykazuje žádné velké výkyvy stability.

Poslední fáze testování navrženého algoritmu byla věnována porovnání velikosti jednotlivých retinálních lézí vůči optickému disku. Jednotlivé retinální léze ve snímku byly diferencovány, což umožnilo pracovat s každou retinální lézí zvlášť a změřit její potřebné geometrické vlastnosti – obvod, obsah a délku hlavní a vedlejší poloosy. Ze získaných výsledků bylo dopočteno procentuální zastoupení retinální léze vůči optickému disku. Z výsledků je patrné, že v mnoha případech je retinální léze mnohonásobně větší než samotný optický disk.

Na základě získaných výsledků pomocí testování a dopočtených statistických hodnot lze navržený semi supervizorní klasifikační algoritmus pro extrakci a identifikaci retinálních lézí označit jako funkční. Vykazuje 97, 951% úspěšnost při extrakci retinálních lézí z původních snímků. Chybovost je způsobena proměnlivou kvalitou snímků, patologickým vývojem cévního systému, což vede ke spojování vzniklých cév, které jsou poté širší a algoritmus je detekuje jako retinální léze, a v neposlední řadě nepravidelným tvarem a barvou retinálních lézí.

Použitá literatura

- [1] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [2] PAŠTA, Jiří. *Základy očního lékařství*. Praha: Univerzita Karlova, Nakladatelství Karolinum, 2017. ISBN 978-80-246-2460-0.
- [3] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [4] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. Praha: Maxdorf, [2018]. Jessenius. ISBN 9788073455804.
- [5] MAŠEK, Petr, Dalibor CHOLEVÍK a Jan NĚMČANSKÝ. *Oftalmologie a diagnostické metody a přístroje v oftalmologii: studijní opora*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014. ISBN 978-80-7464-569-3.
- [6] AUTRATA, Rudolf. *Dětská oftalmologie: [Pediatric ophthalmology]*. V Brně: Masarykova univerzita, 2008-. ISBN 978-80-210-4678-8.
- [7] HLOŽÁNEK, Martin a Blanka BRŮNOVÁ. *Přístrojová technika v oftalmologii*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, 2006. ISBN 80-902160-9-9.
- [8] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 9788070135778.
- [9] Natus RetCam: Newborn care. *Natus Medical Incorporated: Newborn care Natus* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://newborncare.natus.com/products-services/newborn-care-products/vision-screening/retcam3>
- [10] SÜLEYMAN, MD, M. Karaatlı. Retinopathy of prematurity: İstinye University Liv Hospital. In: *Sasilik* [online]. İstanbul [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://www.sasilik.com.tr/en/makaleler/9-retinopathy-of-prematurity>
- [11] MCANDREW, Alasdair. *Introduction to digital image processing with MATLAB*. Boston: Thomson Course Technology, c2004. ISBN 0-534-40011-6.
- [12] SONKA, Milan, Vaclav HLAVAC a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. Fourth edition. Stamford, CT, USA: Cengage Learning, [2015]. ISBN 11-335-9360-7.
- [13] SONKA, Milan, Vaclav HLAVAC a Roger BOYLE. *Practical machine learning and image processing: for facial recognition, object detection, and pattern recognition using Python*. Fourth edition. New York, NY: Springer Science Business Media, 2019. ISBN 978-148-4241-486.
- [14] Mathworks: Adaptthresh. *Mathworks: Help Center* [online]. UK, 1994, 2016 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/adaptthresh.html>
- [15] ZHU, C. Q., Z. Q. YIN, C. M. LI a R. M. FENG. Elastoplastic Analysis of Tunnel Surrounding Rocks based on the Statistical Damage Constitutive Model. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2016, **2016**(3), 27-34. DOI: 10.25103/jestr.092.05. ISSN 17919320. Dostupné také z: <http://jestr.org/downloads/Volume9Issue3/fulltext5932016.pdf>

- [16] BAY, Herbert, Andreas ESS, Tinne TUYTELAARS a Luc VAN GOOL. Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*. 2008, **110**(3), 346-359. DOI: 10.1016/j.cviu.2007.09.014. ISSN 10773142. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1077314207001555>
- [17] HÁJEK, Lukáš. Rozmazání obrazu metodou Gaussian blur [online]. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, České vysoké učení technické v Praze, Břehová 7, 115 19 Praha 1 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://kfe.fjfi.cvut.cz/~hajeklu2/files/MPF1/Ukoly/HajekLukasClanekGBlur.pdf>
- [18] JACOBS, David W. Blob detection: Difference of Gaussian. In: *David W. Jacobs: Professor, Department of Computer Science and UMLACS, University of Maryland* [online]. University of Maryland [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.cs.umd.edu/~djacobs/CMSC426/Blob.pdf>
- [19] LAZEBNIK, Svetlana. Blob detection: Efficient implementation. In: *Svetlana Lazebnik: Associate Professor Department of Computer Science University of Illinois at Urbana-Champaign* [online]. University of Illinois at Urbana-Champaign [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/lec08_blob.pdf
- [20] NILSSON, Nils J. Principles of artificial intelligence. Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers, [1980]. ISBN 0-934613-10-9
- [21] NILSSON, Nils J. Artificial intelligence: a new synthesis. San Francisco: Morgan Kaufmann, c1998. ISBN 1-55860-467-7
- [22] Machine Learning: Supervised vs. Unsupervised Machine Learning. In: *Medium: CHI Software* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://medium.com/@chisoftware/supervised-vs-unsupervised-machine-learning-7f26118d5ee6>
- [23] Mathworks: extractFeatures. *Mathworks: Help Center* [online]. UK, 1994, 2016 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/vision/ref/extractfeatures.html>
- [24] Mathworks: SSIM. *Mathworks: Help Center* [online]. UK, 1994, 2016 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html>
- [25] Manju, M. & Abarna, P. & Akila, U. & Yamini, S. (2018). Peak signal to noise ratio & mean square error calculation for various images using the lossless image compression in CCSDS algorithm. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 119. 14471-14477.
- [26] KAUR, Avneet, Lakhwinder KAUR a Savita GUPTA. Image Recognition using Coefficient of Correlation and Structural SIMilarity Index in Uncontrolled Environment. *International Journal of Computer Applications* [online]. 2012, **59**(5), 32-39 [cit. 2020-03-30]. DOI: 10.5120/9546-3999. ISSN 09758887. Dostupné z: <http://research.ijcaonline.org/volume59/number5/pxc3883999.pdf>
- [27] Mathworks: SSIM. *Mathworks: Help Center* [online]. UK, 1994, 2016 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/imnoise.html>
- [28] SWAIN, Anisha. Noise in Digital Image Processing [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://medium.com/image-vision/noise-in-digital-image-processing-55357c9fab71>

- [29] GALUSZKA, Adriana. *SW pro automatické modelování a evaluaci retinálních lézí* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/136372>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Seznam příloh

Příloha A:	Testování přesnosti navrženého algoritmu pro 100 snímků.....	I
Příloha B:	Výsledné hodnoty korelačního koeficientu při aplikaci Gaussovského šumu. ...	IV
Příloha C:	Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti při aplikaci Gaussovského šumu. VIII	
Příloha D:	Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby při aplikaci Gaussovského šumu.	XII
Příloha E:	Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Speckle šumem. XVI	
Příloha F:	Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Speckle šumem. XX	
Příloha G:	Výsledné hodnoty Střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Speckle šumem. XXIV	
Příloha H:	Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem. XXVIII	
Příloha I:	Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.	XXXII
Příloha J:	Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.	XXXVI

Součástí DP je i příloha ve formě zazipované souboru

Struktura souboru:

Noise – rozsáhlé testování robustnosti navrženého algoritmu

RetinaLesionsourceCodest – navržený algoritmus včetně testovacích snímků

Optic_disk_Detection – detekce optického disku a difference retinálních lézí

Příloha A: *Testování přesnosti navrženého algoritmu pro 100 snímků.*

Soubor	Zlatý standard	Segmentace pomocí algoritmu	Negativní = chybně segmentováno	Pozitivní = správně segmentováno	Falešně pozitivní	Falešně negativní
test 1	12	12	2	11	1	1
test 2	11	11	0	11	0	0
test 3	16	20	4	16	4	0
test 4	20	21	3	19	2	1
test 5	16	17	3	15	2	1
test 6	22	24	2	24	2	0
test 7	29	30	3	28	2	1
test 8	15	14	1	14	0	1
test 9	12	11	1	11	0	1
test 10	12	13	3	11	2	1
test 11	14	14	2	13	1	1
test 12	24	23	1	23	0	1
test 13	25	25	2	24	1	1
test 14	7	11	5	6	4	1
test 15	4	5	1	4	1	0
test 16	5	5	0	5	0	0
test 17	5	6	1	5	1	0
test 18	3	3	0	3	0	0
test 19	5	5	0	5	0	0
test 20	14	14	1	13	0	1
test 21	12	13	1	12	1	0
test 22	17	17	0	17	0	0
test 23	2	2	0	2	0	0
test 24	15	15	0	15	0	0
test 25	11	12	1	11	1	0
test 26	10	9	1	9	0	1
test 27	12	12	0	12	0	0
test 28	13	12	1	12	0	1
test 29	5	5	0	5	0	0
test 30	10	13	3	10	3	0
test 31	14	16	2	14	2	0
test 32	16	16	2	15	1	1
test 33	15	16	1	15	1	0
test 34	14	14	0	14	0	0
test 35	9	9	0	9	0	0
test 36	20	20	2	19	1	1
test 37	19	21	2	19	2	0

Testování přesnosti navrženého algoritmu pro 100 snímků.

test 38	21	21	0	21	0	0
test 39	24	23	1	23	0	1
test 40	27	27	2	26	1	1
test 41	24	24	2	24	1	1
test 42	25	24	1	24	0	1
test 43	16	17	3	15	2	1
test 44	15	15	2	14	1	1
test 45	20	21	2	20	1	1
test 46	16	17	1	16	1	0
test 47	10	10	0	10	0	0
test 48	9	10	3	8	2	1
test 49	4	7	3	4	3	0
test 50	16	15	1	15	0	1
test 51	19	22	3	19	3	0
test 52	51	52	1	51	1	0
test 53	15	16	1	15	1	0
test 54	15	16	1	15	1	0
test 55	29	29	0	29	0	0
test 56	29	29	0	29	0	0
test 57	24	25	1	24	1	0
test 58	28	28	0	28	0	0
test 59	3	3	0	3	0	0
test 60	3	3	0	3	0	0
test 61	3	5	2	3	2	0
test 62	13	15	2	13	2	0
test 63	13	15	2	13	2	0
test 64	14	15	1	14	1	0
test 65	14	15	1	14	1	0
test 66	13	15	2	13	2	0
test 67	20	22	2	20	2	0
test 68	22	23	1	22	1	0
test 69	8	8	0	8	0	0
test 70	9	10	1	9	1	0
test 71	8	10	2	8	2	0
test 72	8	10	2	8	2	0
test 73	11	12	1	11	1	0
test 74	14	13	1	12	0	1
test 75	9	11	2	9	2	0
test 76	11	9	2	9	0	2
test 77	14	16	2	14	2	0
test 78	14	16	2	14	2	0
test 79	14	16	2	14	2	0
test 80	5	5	0	5	0	0

Testování přesnosti navrženého algoritmu pro 100 snímků.

test 81	50	50	0	50	0	0
test 82	54	54	0	54	0	0
test 83	18	17	1	17	0	1
test 84	18	17	1	17	0	1
test 85	12	11	1	11	0	1
test 86	22	22	0	22	0	0
test 87	23	23	0	23	0	0
test 88	27	27	0	27	0	0
test 89	27	27	0	27	0	0
test 90	13	14	1	13	1	0
test 91	13	14	1	13	1	0
test 92	13	14	1	13	1	0
test 93	12	13	1	12	1	0
test 94	3	4	1	3	1	0
test 95	4	5	1	4	1	0
test 96	5	6	1	5	1	0
test 97	8	8	2	7	1	1
test 98	8	9	1	8	1	0
test 99	9	8	2	7	1	1
test 100	9	9	0	9	0	0
průměr	15	16	1	15	1	0
medián	14	15	1	13	1	0
rozptyl	87,773	86,037	1,082	88,068	0,902	0,241
směrodatná odchylka	6,586	6,527	0,842	6,584	0,746	0,449
pravděpodobnost			8,196 %	97,951 %	6,015 %	2,181 %

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu při aplikaci Gaussovského šumu.

Příloha B: *Výsledné hodnoty korelačního koeficientu při aplikaci Gaussovského šumu.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02
1	0,918	0,856	0,779	0,753	0,732	0,690	0,655	0,638	0,632	0,618	0,607	0,586	0,610	0,583	0,548	0,567	0,546	0,543	0,542	0,520
2	0,828	0,724	0,683	0,605	0,615	0,528	0,593	0,512	0,546	0,488	0,509	0,477	0,465	0,496	0,446	0,451	0,454	0,442	0,463	0,443
3	0,833	0,748	0,671	0,591	0,554	0,549	0,545	0,524	0,525	0,479	0,471	0,498	0,484	0,450	0,459	0,495	0,436	0,422	0,486	0,457
4	0,795	0,685	0,570	0,554	0,489	0,443	0,393	0,380	0,365	0,366	0,471	0,446	0,351	0,310	0,431	0,451	0,410	0,412	0,376	0,370
5	0,767	0,580	0,519	0,452	0,410	0,423	0,293	0,299	0,289	0,423	0,404	0,360	0,419	0,378	0,301	0,428	0,354	0,388	0,373	0,362
6	0,787	0,719	0,693	0,674	0,641	0,622	0,613	0,574	0,558	0,563	0,546	0,541	0,522	0,556	0,534	0,494	0,543	0,510	0,479	0,508
7	0,918	0,490	0,837	0,453	0,438	0,422	0,739	0,462	0,429	0,398	0,391	0,378	0,432	0,383	0,669	0,420	0,350	0,369	0,643	0,712
8	0,704	0,740	0,603	0,608	0,611	0,540	0,544	0,544	0,508	0,522	0,504	0,502	0,516	0,518	0,490	0,502	0,477	0,477	0,489	0,473
9	0,826	0,830	0,812	0,773	0,770	0,771	0,760	0,744	0,749	0,721	0,765	0,718	0,722	0,711	0,699	0,681	0,703	0,675	0,719	0,684
10	0,774	0,649	0,465	0,335	0,509	0,495	0,467	0,519	0,489	0,485	0,438	0,045	0,084	0,483	0,439	0,459	0,312	0,462	0,439	0,455
11	0,793	0,668	0,592	0,535	0,458	0,467	0,393	0,399	0,403	0,418	0,352	0,308	0,325	0,364	0,456	0,280	0,360	0,279	0,139	0,269
12	0,878	0,863	0,827	0,785	0,828	0,819	0,805	0,781	0,800	0,756	0,764	0,748	0,780	0,747	0,744	0,735	0,729	0,722	0,718	0,708
13	0,927	0,882	0,870	0,654	0,639	0,648	0,633	0,786	0,627	0,597	0,769	0,757	0,505	0,744	0,703	0,681	0,578	0,556	0,725	0,580
14	0,937	0,892	0,875	0,809	0,811	0,762	0,731	0,735	0,699	0,689	0,667	0,755	0,673	0,649	0,662	0,633	0,629	0,646	0,710	0,733
15	0,904	0,898	0,863	0,821	0,819	0,819	0,723	0,724	0,694	0,699	0,671	0,758	0,676	0,653	0,663	0,669	0,728	0,675	0,637	0,659
16	0,929	0,890	0,856	0,686	0,653	0,597	0,593	0,722	0,564	0,536	0,508	0,487	0,520	0,503	0,498	0,460	0,493	0,546	0,478	0,481
17	0,933	0,909	0,817	0,886	0,878	0,875	0,859	0,538	0,848	0,826	0,810	0,828	0,821	0,815	0,820	0,818	0,736	0,807	0,720	0,807
18	0,929	0,888	0,859	0,844	0,824	0,800	0,811	0,800	0,784	0,771	0,763	0,758	0,745	0,746	0,744	0,719	0,734	0,722	0,596	0,718
19	0,882	0,788	0,780	0,708	0,722	0,678	0,666	0,512	0,575	0,533	0,480	0,439	0,460	0,563	0,500	0,495	0,518	0,468	0,442	0,445
20	0,969	0,960	0,920	0,926	0,912	0,904	0,861	0,858	0,853	0,845	0,833	0,823	0,815	0,807	0,800	0,806	0,814	0,789	0,798	0,790
21	0,916	0,865	0,767	0,717	0,724	0,700	0,675	0,674	0,661	0,622	0,633	0,604	0,632	0,686	0,671	0,536	0,601	0,668	0,591	0,632
22	0,896	0,835	0,850	0,785	0,765	0,832	0,725	0,786	0,749	0,688	0,676	0,677	0,676	0,661	0,649	0,649	0,656	0,660	0,634	0,639
23	0,911	0,891	0,875	0,845	0,842	0,828	0,812	0,791	0,759	0,789	0,783	0,698	0,754	0,759	0,753	0,741	0,715	0,755	0,712	0,706
24	0,925	0,860	0,819	0,779	0,733	0,688	0,723	0,718	0,697	0,678	0,693	0,705	0,638	0,636	0,585	0,612	0,605	0,587	0,670	0,674
25	0,894	0,629	0,618	0,625	0,613	0,593	0,618	0,603	0,761	0,570	0,596	0,628	0,561	0,581	0,737	0,596	0,578	0,707	0,687	0,555

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu při aplikaci Gaussovského šumu.

26	0,899	0,834	0,796	0,807	0,787	0,776	0,770	0,767	0,754	0,764	0,736	0,743	0,741	0,736	0,694	0,724	0,714	0,694	0,712	0,727
27	0,887	0,793	0,777	0,768	0,751	0,717	0,702	0,709	0,684	0,684	0,672	0,674	0,677	0,678	0,662	0,656	0,746	0,671	0,665	0,644
28	0,952	0,892	0,859	0,826	0,793	0,795	0,750	0,741	0,746	0,737	0,726	0,711	0,709	0,701	0,696	0,687	0,690	0,679	0,691	0,664
29	0,876	0,858	0,804	0,767	0,723	0,714	0,678	0,674	0,645	0,635	0,637	0,640	0,621	0,625	0,627	0,609	0,607	0,596	0,591	0,601
30	0,920	0,890	0,865	0,856	0,814	0,807	0,786	0,781	0,757	0,745	0,730	0,703	0,730	0,702	0,671	0,708	0,711	0,647	0,697	0,669
31	0,921	0,884	0,852	0,831	0,824	0,806	0,786	0,783	0,751	0,729	0,721	0,713	0,717	0,712	0,694	0,686	0,695	0,689	0,671	0,669
32	0,945	0,893	0,859	0,855	0,843	0,831	0,815	0,806	0,792	0,785	0,789	0,761	0,773	0,760	0,766	0,731	0,738	0,727	0,738	0,738
33	0,867	0,859	0,826	0,811	0,794	0,774	0,735	0,737	0,747	0,726	0,715	0,722	0,705	0,699	0,668	0,661	0,682	0,656	0,661	0,670
34	0,918	0,883	0,859	0,811	0,799	0,761	0,765	0,697	0,692	0,713	0,693	0,710	0,689	0,647	0,679	0,636	0,664	0,656	0,682	0,610
35	0,932	0,904	0,868	0,820	0,799	0,786	0,769	0,756	0,740	0,734	0,705	0,717	0,697	0,687	0,698	0,670	0,686	0,668	0,665	0,654
36	0,923	0,885	0,842	0,816	0,782	0,774	0,739	0,734	0,713	0,711	0,691	0,671	0,686	0,676	0,658	0,673	0,634	0,620	0,632	0,638
37	0,926	0,883	0,869	0,820	0,809	0,774	0,750	0,732	0,717	0,710	0,689	0,687	0,664	0,663	0,668	0,633	0,638	0,651	0,638	0,634
38	0,900	0,861	0,817	0,785	0,770	0,751	0,737	0,706	0,719	0,703	0,689	0,687	0,549	0,683	0,665	0,558	0,636	0,569	0,639	0,654
39	0,921	0,900	0,854	0,816	0,805	0,769	0,765	0,760	0,720	0,606	0,717	0,685	0,699	0,604	0,667	0,655	0,547	0,450	0,586	0,572
40	0,885	0,847	0,781	0,769	0,737	0,700	0,675	0,685	0,670	0,629	0,634	0,635	0,615	0,596	0,601	0,625	0,585	0,590	0,605	0,579
41	0,885	0,825	0,777	0,746	0,703	0,683	0,757	0,778	0,752	0,733	0,758	0,598	0,605	0,787	0,778	0,590	0,782	0,782	0,583	0,705
42	0,921	0,910	0,867	0,818	0,761	0,731	0,722	0,697	0,687	0,682	0,661	0,648	0,642	0,638	0,637	0,620	0,572	0,623	0,613	0,609
43	0,836	0,810	0,767	0,752	0,708	0,680	0,679	0,677	0,646	0,473	0,565	0,630	0,542	0,573	0,535	0,589	0,540	0,607	0,539	0,557
44	0,915	0,866	0,832	0,805	0,782	0,789	0,755	0,718	0,708	0,722	0,714	0,718	0,704	0,671	0,679	0,655	0,650	0,643	0,639	0,634
45	0,919	0,878	0,819	0,809	0,800	0,768	0,750	0,737	0,735	0,699	0,718	0,689	0,642	0,672	0,659	0,648	0,630	0,635	0,648	0,660
46	0,873	0,833	0,776	0,745	0,716	0,689	0,694	0,661	0,626	0,615	0,617	0,615	0,607	0,572	0,583	0,558	0,559	0,555	0,496	0,563
47	0,782	0,669	0,642	0,533	0,483	0,497	0,338	0,313	0,358	0,337	0,299	0,320	0,283	0,303	0,274	0,305	0,264	0,268	0,355	0,263
48	0,756	0,717	0,686	0,658	0,631	0,572	0,565	0,583	0,505	0,476	0,554	0,531	0,495	0,517	0,489	0,518	0,526	0,506	0,479	0,500
49	0,965	0,950	0,954	0,948	0,937	0,951	0,948	0,910	0,929	0,863	0,938	0,858	0,865	0,888	0,856	0,868	0,901	0,847	0,809	0,797
50	0,961	0,961	0,941	0,961	0,948	0,944	0,855	0,863	0,855	0,877	0,846	0,829	0,887	0,807	0,781	0,781	0,770	0,748	0,794	0,709
51	0,932	0,915	0,913	0,881	0,898	0,855	0,853	0,811	0,825	0,788	0,830	0,810	0,779	0,784	0,779	0,770	0,799	0,735	0,753	0,726
52	0,787	0,757	0,773	0,711	0,763	0,641	0,632	0,745	0,615	0,590	0,544	0,531	0,499	0,496	0,463	0,725	0,443	0,710	0,715	0,418

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu při aplikaci Gaussovského šumu.

53	0,832	0,819	0,815	0,803	0,809	0,800	0,796	0,781	0,790	0,773	0,788	0,766	0,596	0,554	0,748	0,754	0,539	0,751	0,747	0,746
54	0,934	0,936	0,924	0,915	0,914	0,867	0,884	0,885	0,874	0,838	0,876	0,848	0,708	0,837	0,855	0,802	0,828	0,818	0,809	0,830
55	0,937	0,930	0,918	0,911	0,901	0,899	0,909	0,876	0,874	0,868	0,846	0,880	0,884	0,861	0,829	0,841	0,828	0,829	0,846	0,833
56	0,859	0,838	0,828	0,819	0,790	0,733	0,777	0,759	0,789	0,747	0,710	0,717	0,732	0,662	0,715	0,637	0,670	0,689	0,640	0,635
57	0,829	0,796	0,751	0,757	0,739	0,728	0,747	0,727	0,717	0,725	0,689	0,690	0,714	0,680	0,713	0,681	0,664	0,636	0,636	0,637
58	0,848	0,838	0,814	0,783	0,791	0,778	0,768	0,716	0,747	0,759	0,697	0,713	0,732	0,720	0,731	0,679	0,722	0,688	0,686	0,679
59	0,861	0,842	0,841	0,812	0,809	0,807	0,798	0,804	0,792	0,794	0,795	0,779	0,783	0,766	0,769	0,764	0,752	0,770	0,784	0,758
60	0,976	0,974	0,978	0,962	0,981	0,939	0,970	0,938	0,913	0,925	0,941	0,900	0,909	0,885	0,880	0,889	0,947	0,845	0,863	0,813
61	0,967	0,966	0,971	0,959	0,961	0,953	0,964	0,956	0,947	0,929	0,892	0,924	0,928	0,896	0,921	0,823	0,926	0,901	0,841	0,799
62	0,971	0,969	0,957	0,939	0,958	0,922	0,888	0,893	0,914	0,827	0,833	0,859	0,840	0,796	0,839	0,791	0,789	0,772	0,772	0,743
63	0,933	0,927	0,896	0,884	0,891	0,866	0,873	0,854	0,855	0,870	0,832	0,829	0,807	0,813	0,800	0,784	0,813	0,765	0,810	0,788
64	0,924	0,923	0,896	0,901	0,892	0,902	0,889	0,885	0,887	0,850	0,881	0,776	0,857	0,842	0,826	0,803	0,712	0,799	0,777	0,717
65	0,927	0,883	0,909	0,909	0,870	0,881	0,871	0,852	0,836	0,838	0,816	0,829	0,801	0,798	0,806	0,801	0,746	0,747	0,781	0,729
66	0,939	0,910	0,919	0,853	0,903	0,874	0,847	0,896	0,812	0,822	0,838	0,773	0,783	0,725	0,739	0,784	0,719	0,777	0,699	0,713
67	0,908	0,778	0,882	0,894	0,904	0,859	0,826	0,890	0,824	0,798	0,834	0,827	0,784	0,767	0,712	0,723	0,725	0,744	0,760	0,756
68	0,749	0,717	0,827	0,690	0,663	0,793	0,808	0,602	0,577	0,526	0,516	0,769	0,493	0,749	0,754	0,488	0,759	0,770	0,444	0,423
69	0,900	0,884	0,850	0,822	0,812	0,808	0,846	0,824	0,822	0,815	0,824	0,796	0,791	0,803	0,780	0,777	0,750	0,770	0,787	0,777
70	0,952	0,952	0,948	0,949	0,945	0,946	0,941	0,941	0,938	0,943	0,929	0,934	0,926	0,931	0,926	0,921	0,916	0,926	0,917	0,924
71	0,950	0,945	0,939	0,943	0,926	0,933	0,926	0,934	0,923	0,906	0,898	0,916	0,906	0,905	0,913	0,900	0,901	0,899	0,878	0,900
72	0,945	0,943	0,929	0,928	0,937	0,936	0,922	0,919	0,924	0,894	0,905	0,917	0,903	0,899	0,896	0,891	0,880	0,881	0,866	0,906
73	0,957	0,958	0,953	0,953	0,946	0,940	0,944	0,939	0,947	0,933	0,928	0,929	0,935	0,926	0,926	0,927	0,925	0,929	0,894	0,929
74	0,949	0,943	0,939	0,939	0,938	0,934	0,922	0,917	0,925	0,913	0,918	0,922	0,920	0,912	0,902	0,904	0,905	0,878	0,857	0,888
75	0,943	0,939	0,932	0,924	0,902	0,889	0,912	0,894	0,909	0,905	0,886	0,873	0,888	0,870	0,870	0,867	0,884	0,875	0,841	0,861
76	0,955	0,953	0,946	0,952	0,937	0,951	0,945	0,941	0,941	0,934	0,948	0,929	0,946	0,934	0,916	0,928	0,930	0,921	0,881	0,926
77	0,950	0,941	0,942	0,945	0,937	0,929	0,925	0,935	0,930	0,929	0,919	0,930	0,929	0,892	0,891	0,904	0,926	0,907	0,872	0,893
78	0,936	0,935	0,914	0,913	0,909	0,863	0,892	0,860	0,835	0,835	0,867	0,832	0,833	0,842	0,829	0,831	0,824	0,837	0,822	0,815
79	0,937	0,932	0,906	0,914	0,910	0,859	0,912	0,859	0,868	0,875	0,874	0,872	0,853	0,841	0,711	0,839	0,836	0,836	0,820	0,824

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu při aplikaci Gaussovského šumu.

80	0,933	0,929	0,926	0,920	0,906	0,893	0,886	0,851	0,874	0,848	0,862	0,887	0,863	0,852	0,812	0,844	0,832	0,823	0,843	0,805
81	0,971	0,982	0,970	0,980	0,978	0,976	0,966	0,974	0,971	0,967	0,957	0,956	0,965	0,931	0,942	0,934	0,925	0,936	0,925	0,931
82	0,811	0,830	0,780	0,747	0,813	0,819	0,803	0,792	0,806	0,797	0,777	0,773	0,790	0,744	0,771	0,760	0,530	0,765	0,739	0,734
83	0,848	0,796	0,775	0,824	0,741	0,828	0,701	0,823	0,811	0,642	0,809	0,602	0,796	0,786	0,533	0,785	0,786	0,777	0,753	0,742
84	0,936	0,918	0,909	0,904	0,901	0,867	0,872	0,863	0,809	0,817	0,802	0,832	0,785	0,783	0,789	0,756	0,730	0,700	0,733	0,689
85	0,938	0,935	0,904	0,888	0,899	0,880	0,860	0,889	0,823	0,828	0,782	0,802	0,765	0,761	0,746	0,731	0,692	0,722	0,739	0,714
86	0,952	0,942	0,925	0,923	0,892	0,928	0,870	0,850	0,836	0,827	0,853	0,835	0,793	0,750	0,744	0,770	0,751	0,749	0,719	0,718
87	0,907	0,903	0,872	0,858	0,862	0,888	0,844	0,840	0,841	0,853	0,836	0,847	0,802	0,807	0,759	0,723	0,771	0,753	0,661	0,767
88	0,912	0,899	0,884	0,880	0,858	0,853	0,865	0,844	0,849	0,814	0,751	0,545	0,753	0,753	0,776	0,806	0,718	0,799	0,750	0,778
89	0,902	0,894	0,863	0,848	0,835	0,860	0,829	0,837	0,793	0,813	0,762	0,820	0,753	0,753	0,761	0,731	0,746	0,720	0,699	0,737
90	0,902	0,889	0,874	0,882	0,843	0,840	0,826	0,799	0,823	0,826	0,796	0,802	0,791	0,807	0,757	0,725	0,719	0,778	0,774	0,790
91	0,932	0,901	0,891	0,862	0,877	0,830	0,844	0,823	0,834	0,806	0,826	0,820	0,775	0,796	0,817	0,741	0,709	0,783	0,718	0,708
92	0,907	0,860	0,865	0,853	0,830	0,811	0,838	0,803	0,812	0,778	0,799	0,830	0,795	0,745	0,776	0,793	0,756	0,743	0,743	0,769
93	0,925	0,912	0,905	0,883	0,865	0,856	0,853	0,829	0,821	0,836	0,839	0,812	0,790	0,776	0,762	0,800	0,800	0,797	0,800	0,740
94	0,917	0,899	0,905	0,880	0,873	0,847	0,839	0,838	0,835	0,789	0,815	0,803	0,820	0,804	0,786	0,790	0,728	0,731	0,775	0,781
95	0,937	0,933	0,898	0,891	0,906	0,886	0,882	0,864	0,851	0,854	0,850	0,848	0,885	0,871	0,835	0,820	0,791	0,800	0,843	0,793
96	0,959	0,977	0,957	0,933	0,938	0,927	0,944	0,909	0,882	0,917	0,878	0,900	0,835	0,845	0,818	0,855	0,803	0,847	0,814	0,748
97	0,972	0,965	0,967	0,960	0,949	0,954	0,941	0,922	0,955	0,916	0,948	0,922	0,940	0,902	0,925	0,898	0,887	0,888	0,869	0,827
98	0,963	0,961	0,956	0,950	0,948	0,947	0,943	0,947	0,928	0,914	0,931	0,916	0,880	0,908	0,860	0,877	0,902	0,840	0,877	0,859
99	0,965	0,964	0,951	0,934	0,935	0,892	0,894	0,860	0,935	0,925	0,862	0,862	0,826	0,893	0,826	0,833	0,814	0,834	0,781	0,817
100	0,969	0,963	0,961	0,954	0,954	0,949	0,957	0,949	0,897	0,915	0,938	0,929	0,888	0,926	0,819	0,886	0,811	0,786	0,818	0,862
medián	0,921	0,889	0,863	0,825	0,817	0,815	0,804	0,789	0,791	0,772	0,767	0,758	0,749	0,746	0,744	0,725	0,719	0,725	0,716	0,713
průměr	0,902	0,865	0,844	0,815	0,804	0,789	0,780	0,766	0,757	0,740	0,740	0,728	0,715	0,720	0,714	0,705	0,695	0,700	0,693	0,688

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti při aplikaci Gaussovského šumu.

Příloha C: *Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti při aplikaci Gaussovského šumu.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
1	0,929	0,902	0,856	0,852	0,846	0,831	0,819	0,811	0,814	0,819	0,802	0,792	0,817	0,799	0,779	0,793	0,781	0,785	0,778	0,788
2	0,882	0,842	0,835	0,702	0,721	0,660	0,706	0,669	0,687	0,640	0,663	0,623	0,618	0,630	0,593	0,587	0,584	0,550	0,595	0,555
3	0,882	0,851	0,857	0,834	0,833	0,826	0,813	0,817	0,802	0,792	0,798	0,799	0,796	0,788	0,793	0,788	0,791	0,808	0,794	0,779
4	0,885	0,853	0,831	0,819	0,822	0,807	0,799	0,802	0,780	0,779	0,715	0,708	0,782	0,776	0,678	0,679	0,663	0,666	0,642	0,637
5	0,898	0,873	0,854	0,838	0,839	0,834	0,823	0,820	0,817	0,765	0,730	0,715	0,738	0,759	0,798	0,730	0,693	0,712	0,670	0,675
6	0,849	0,825	0,801	0,816	0,798	0,791	0,799	0,777	0,787	0,792	0,772	0,781	0,782	0,773	0,777	0,771	0,751	0,744	0,768	0,758
7	0,896	0,721	0,849	0,687	0,694	0,690	0,706	0,696	0,661	0,660	0,637	0,628	0,646	0,621	0,608	0,614	0,590	0,591	0,566	0,808
8	0,843	0,827	0,811	0,814	0,809	0,793	0,796	0,782	0,780	0,781	0,776	0,780	0,782	0,777	0,773	0,779	0,771	0,774	0,774	0,774
9	0,827	0,820	0,816	0,805	0,801	0,799	0,795	0,792	0,788	0,710	0,727	0,777	0,782	0,780	0,777	0,642	0,780	0,650	0,645	0,769
10	0,945	0,916	0,769	0,776	0,902	0,908	0,747	0,894	0,895	0,911	0,691	0,694	0,673	0,893	0,886	0,870	0,652	0,903	0,883	0,869
11	0,932	0,903	0,885	0,875	0,872	0,868	0,848	0,856	0,857	0,849	0,849	0,848	0,838	0,841	0,762	0,837	0,843	0,839	0,688	0,843
12	0,814	0,761	0,751	0,735	0,725	0,728	0,710	0,693	0,683	0,665	0,661	0,644	0,662	0,635	0,624	0,631	0,610	0,592	0,576	0,580
13	0,886	0,865	0,852	0,738	0,726	0,720	0,719	0,811	0,703	0,697	0,814	0,796	0,675	0,799	0,656	0,632	0,660	0,652	0,796	0,646
14	0,932	0,913	0,903	0,865	0,873	0,862	0,853	0,856	0,849	0,847	0,848	0,888	0,844	0,829	0,834	0,835	0,831	0,832	0,882	0,874
15	0,921	0,917	0,910	0,887	0,898	0,898	0,866	0,866	0,850	0,861	0,853	0,893	0,857	0,849	0,849	0,851	0,880	0,849	0,832	0,844
16	0,963	0,953	0,950	0,890	0,887	0,879	0,873	0,831	0,861	0,860	0,860	0,854	0,852	0,849	0,852	0,701	0,848	0,753	0,839	0,845
17	0,885	0,870	0,742	0,853	0,851	0,852	0,842	0,687	0,835	0,831	0,825	0,827	0,819	0,819	0,827	0,826	0,623	0,816	0,615	0,814
18	0,850	0,814	0,802	0,790	0,786	0,779	0,776	0,766	0,767	0,748	0,759	0,757	0,746	0,740	0,746	0,742	0,741	0,737	0,598	0,736
19	0,918	0,871	0,881	0,849	0,870	0,850	0,847	0,769	0,831	0,827	0,748	0,710	0,831	0,725	0,819	0,678	0,817	0,811	0,804	0,639
20	0,914	0,901	0,870	0,872	0,867	0,864	0,840	0,838	0,833	0,831	0,826	0,824	0,816	0,810	0,811	0,809	0,819	0,804	0,807	0,808
21	0,920	0,879	0,849	0,839	0,840	0,832	0,827	0,825	0,824	0,809	0,815	0,803	0,808	0,730	0,723	0,637	0,792	0,698	0,804	0,668
22	0,930	0,918	0,917	0,898	0,890	0,913	0,864	0,903	0,885	0,857	0,858	0,851	0,854	0,842	0,849	0,847	0,845	0,845	0,834	0,834
23	0,775	0,797	0,789	0,771	0,770	0,760	0,754	0,741	0,747	0,746	0,743	0,730	0,726	0,731	0,742	0,729	0,727	0,734	0,625	0,718
24	0,919	0,896	0,885	0,869	0,870	0,730	0,859	0,835	0,695	0,844	0,685	0,832	0,645	0,829	0,604	0,618	0,612	0,607	0,819	0,822
25	0,838	0,665	0,648	0,648	0,632	0,610	0,620	0,597	0,753	0,566	0,574	0,547	0,555	0,522	0,742	0,534	0,502	0,731	0,709	0,499

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti při aplikaci Gaussovského šumu.

26	0,867	0,836	0,814	0,821	0,805	0,801	0,793	0,786	0,784	0,791	0,782	0,774	0,783	0,769	0,762	0,770	0,785	0,743	0,754	0,773
27	0,886	0,822	0,832	0,838	0,828	0,816	0,813	0,812	0,804	0,806	0,797	0,802	0,799	0,800	0,795	0,784	0,681	0,795	0,788	0,783
28	0,911	0,866	0,854	0,840	0,825	0,823	0,801	0,807	0,795	0,793	0,783	0,782	0,776	0,780	0,778	0,778	0,771	0,767	0,779	0,766
29	0,883	0,873	0,851	0,848	0,825	0,825	0,812	0,811	0,799	0,799	0,798	0,799	0,791	0,790	0,800	0,790	0,788	0,785	0,783	0,779
30	0,863	0,829	0,804	0,809	0,792	0,787	0,775	0,771	0,761	0,763	0,762	0,745	0,754	0,752	0,744	0,749	0,750	0,740	0,742	0,732
31	0,867	0,835	0,825	0,810	0,804	0,795	0,787	0,784	0,781	0,774	0,774	0,772	0,776	0,767	0,766	0,760	0,753	0,756	0,755	0,747
32	0,881	0,844	0,813	0,823	0,815	0,805	0,797	0,795	0,791	0,785	0,785	0,779	0,781	0,774	0,776	0,767	0,769	0,763	0,758	0,758
33	0,853	0,850	0,822	0,822	0,812	0,812	0,785	0,796	0,795	0,793	0,797	0,799	0,792	0,789	0,778	0,768	0,779	0,762	0,762	0,774
34	0,873	0,846	0,839	0,819	0,813	0,803	0,797	0,791	0,790	0,782	0,785	0,788	0,787	0,780	0,776	0,772	0,778	0,765	0,772	0,768
35	0,856	0,835	0,809	0,788	0,790	0,784	0,774	0,773	0,766	0,758	0,755	0,753	0,746	0,742	0,747	0,738	0,733	0,739	0,738	0,729
36	0,860	0,828	0,812	0,799	0,787	0,787	0,772	0,766	0,688	0,761	0,750	0,745	0,752	0,748	0,745	0,751	0,741	0,729	0,732	0,733
37	0,870	0,838	0,836	0,803	0,801	0,784	0,781	0,772	0,772	0,764	0,754	0,760	0,751	0,750	0,751	0,746	0,742	0,738	0,739	0,740
38	0,891	0,874	0,858	0,848	0,841	0,840	0,833	0,820	0,826	0,821	0,818	0,815	0,710	0,811	0,804	0,681	0,679	0,674	0,793	0,647
39	0,917	0,899	0,885	0,867	0,875	0,858	0,852	0,854	0,848	0,692	0,840	0,825	0,836	0,654	0,816	0,824	0,619	0,615	0,620	0,610
40	0,897	0,883	0,857	0,860	0,846	0,839	0,822	0,826	0,818	0,806	0,805	0,814	0,808	0,804	0,800	0,695	0,800	0,794	0,799	0,788
41	0,912	0,880	0,874	0,859	0,843	0,839	0,831	0,816	0,833	0,814	0,787	0,822	0,727	0,786	0,780	0,713	0,757	0,770	0,701	0,753
42	0,941	0,929	0,912	0,894	0,871	0,864	0,866	0,857	0,854	0,853	0,849	0,849	0,845	0,840	0,840	0,838	0,689	0,833	0,832	0,827
43	0,900	0,888	0,880	0,874	0,868	0,857	0,861	0,862	0,854	0,699	0,663	0,852	0,643	0,840	0,642	0,835	0,845	0,855	0,840	0,851
44	0,897	0,877	0,858	0,847	0,839	0,846	0,834	0,824	0,829	0,825	0,826	0,832	0,810	0,820	0,804	0,811	0,815	0,810	0,810	0,804
45	0,884	0,864	0,838	0,840	0,836	0,823	0,815	0,817	0,815	0,806	0,805	0,801	0,798	0,795	0,796	0,794	0,785	0,792	0,789	0,779
46	0,841	0,831	0,803	0,794	0,772	0,778	0,767	0,760	0,746	0,746	0,745	0,743	0,737	0,740	0,727	0,724	0,709	0,729	0,713	0,715
47	0,905	0,882	0,873	0,880	0,874	0,865	0,858	0,851	0,851	0,845	0,835	0,826	0,823	0,839	0,822	0,817	0,816	0,810	0,599	0,813
48	0,874	0,863	0,851	0,860	0,839	0,807	0,822	0,831	0,819	0,813	0,822	0,802	0,795	0,800	0,809	0,797	0,809	0,804	0,805	0,811
49	0,965	0,950	0,954	0,948	0,937	0,951	0,948	0,910	0,929	0,863	0,938	0,858	0,865	0,888	0,856	0,868	0,901	0,847	0,809	0,797
50	0,961	0,961	0,941	0,961	0,948	0,944	0,855	0,863	0,855	0,877	0,846	0,829	0,887	0,807	0,781	0,781	0,770	0,748	0,794	0,709
51	0,932	0,915	0,913	0,881	0,898	0,855	0,853	0,811	0,825	0,788	0,830	0,810	0,779	0,784	0,779	0,770	0,799	0,735	0,753	0,726
52	0,787	0,757	0,773	0,711	0,763	0,641	0,632	0,745	0,615	0,590	0,544	0,531	0,499	0,496	0,463	0,725	0,443	0,710	0,715	0,418

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti při aplikaci Gaussovského šumu.

53	0,832	0,819	0,815	0,803	0,809	0,800	0,796	0,781	0,790	0,773	0,788	0,766	0,596	0,554	0,748	0,754	0,539	0,751	0,747	0,746
54	0,934	0,936	0,924	0,915	0,914	0,867	0,884	0,885	0,874	0,838	0,876	0,848	0,708	0,837	0,855	0,802	0,828	0,818	0,809	0,830
55	0,937	0,930	0,918	0,911	0,901	0,899	0,909	0,876	0,874	0,868	0,846	0,880	0,884	0,861	0,829	0,841	0,828	0,829	0,846	0,833
56	0,859	0,838	0,828	0,819	0,790	0,733	0,777	0,759	0,789	0,747	0,710	0,717	0,732	0,662	0,715	0,637	0,670	0,689	0,640	0,635
57	0,829	0,796	0,751	0,757	0,739	0,728	0,747	0,727	0,717	0,725	0,689	0,690	0,714	0,680	0,713	0,681	0,664	0,636	0,636	0,637
58	0,848	0,838	0,814	0,783	0,791	0,778	0,768	0,716	0,747	0,759	0,697	0,713	0,732	0,720	0,731	0,679	0,722	0,688	0,686	0,679
59	0,861	0,842	0,841	0,812	0,809	0,807	0,798	0,804	0,792	0,794	0,795	0,779	0,783	0,766	0,769	0,764	0,752	0,770	0,784	0,758
60	0,976	0,974	0,978	0,962	0,981	0,939	0,970	0,938	0,913	0,925	0,941	0,900	0,909	0,885	0,880	0,889	0,947	0,845	0,863	0,813
61	0,967	0,966	0,971	0,959	0,961	0,953	0,964	0,956	0,947	0,929	0,892	0,924	0,928	0,896	0,921	0,823	0,926	0,901	0,841	0,799
62	0,971	0,969	0,957	0,939	0,958	0,922	0,888	0,893	0,914	0,827	0,833	0,859	0,840	0,796	0,839	0,791	0,789	0,772	0,772	0,743
63	0,933	0,927	0,896	0,884	0,891	0,866	0,873	0,854	0,855	0,870	0,832	0,829	0,807	0,813	0,800	0,784	0,813	0,765	0,810	0,788
64	0,924	0,923	0,896	0,901	0,892	0,902	0,889	0,885	0,887	0,850	0,881	0,776	0,857	0,842	0,826	0,803	0,712	0,799	0,777	0,717
65	0,927	0,883	0,909	0,909	0,870	0,881	0,871	0,852	0,836	0,838	0,816	0,829	0,801	0,798	0,806	0,801	0,746	0,747	0,781	0,729
66	0,939	0,910	0,919	0,853	0,903	0,874	0,847	0,896	0,812	0,822	0,838	0,773	0,783	0,725	0,739	0,784	0,719	0,777	0,699	0,713
67	0,908	0,778	0,882	0,894	0,904	0,859	0,826	0,890	0,824	0,798	0,834	0,827	0,784	0,767	0,712	0,723	0,725	0,744	0,760	0,756
68	0,749	0,717	0,827	0,690	0,663	0,793	0,808	0,602	0,577	0,526	0,516	0,769	0,493	0,749	0,754	0,488	0,759	0,770	0,444	0,423
69	0,900	0,884	0,850	0,822	0,812	0,808	0,846	0,824	0,822	0,815	0,824	0,796	0,791	0,803	0,780	0,777	0,750	0,770	0,787	0,777
70	0,952	0,952	0,948	0,949	0,945	0,946	0,941	0,941	0,938	0,943	0,929	0,934	0,926	0,931	0,926	0,921	0,916	0,926	0,917	0,924
71	0,950	0,945	0,939	0,943	0,926	0,933	0,926	0,934	0,923	0,906	0,898	0,916	0,906	0,905	0,913	0,900	0,901	0,899	0,878	0,900
72	0,945	0,943	0,929	0,928	0,937	0,936	0,922	0,919	0,924	0,894	0,905	0,917	0,903	0,899	0,896	0,891	0,880	0,881	0,866	0,906
73	0,957	0,958	0,953	0,953	0,946	0,940	0,944	0,939	0,947	0,933	0,928	0,929	0,935	0,926	0,926	0,927	0,925	0,929	0,894	0,929
74	0,949	0,943	0,939	0,939	0,938	0,934	0,922	0,917	0,925	0,913	0,918	0,922	0,920	0,912	0,902	0,904	0,905	0,878	0,857	0,888
75	0,943	0,939	0,932	0,924	0,902	0,889	0,912	0,894	0,909	0,905	0,886	0,873	0,888	0,870	0,870	0,867	0,884	0,875	0,841	0,861
76	0,955	0,953	0,946	0,952	0,937	0,951	0,945	0,941	0,941	0,934	0,948	0,929	0,946	0,934	0,916	0,928	0,930	0,921	0,881	0,926
77	0,950	0,941	0,942	0,945	0,937	0,929	0,925	0,935	0,930	0,929	0,919	0,930	0,929	0,892	0,891	0,904	0,926	0,907	0,872	0,893
78	0,936	0,935	0,914	0,913	0,909	0,863	0,892	0,860	0,835	0,835	0,867	0,832	0,833	0,842	0,829	0,831	0,824	0,837	0,822	0,815
79	0,937	0,932	0,906	0,914	0,910	0,859	0,912	0,859	0,868	0,875	0,874	0,872	0,853	0,841	0,711	0,839	0,836	0,836	0,820	0,824

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti při aplikaci Gaussovského šumu.

80	0,933	0,929	0,926	0,920	0,906	0,893	0,886	0,851	0,874	0,848	0,862	0,887	0,863	0,852	0,812	0,844	0,832	0,823	0,843	0,805
81	0,971	0,982	0,970	0,980	0,978	0,976	0,966	0,974	0,971	0,967	0,957	0,956	0,965	0,931	0,942	0,934	0,925	0,936	0,925	0,931
82	0,811	0,830	0,780	0,747	0,813	0,819	0,803	0,792	0,806	0,797	0,777	0,773	0,790	0,744	0,771	0,760	0,530	0,765	0,739	0,734
83	0,848	0,796	0,775	0,824	0,741	0,828	0,701	0,823	0,811	0,642	0,809	0,602	0,796	0,786	0,533	0,785	0,786	0,777	0,753	0,742
84	0,936	0,918	0,909	0,904	0,901	0,867	0,872	0,863	0,809	0,817	0,802	0,832	0,785	0,783	0,789	0,756	0,730	0,700	0,733	0,689
85	0,938	0,935	0,904	0,888	0,899	0,880	0,860	0,889	0,823	0,828	0,782	0,802	0,765	0,761	0,746	0,731	0,692	0,722	0,739	0,714
86	0,952	0,942	0,925	0,923	0,892	0,928	0,870	0,850	0,836	0,827	0,853	0,835	0,793	0,750	0,744	0,770	0,751	0,749	0,719	0,718
87	0,907	0,903	0,872	0,858	0,862	0,888	0,844	0,840	0,841	0,853	0,836	0,847	0,802	0,807	0,759	0,723	0,771	0,753	0,661	0,767
88	0,912	0,899	0,884	0,880	0,858	0,853	0,865	0,844	0,849	0,814	0,751	0,545	0,753	0,753	0,776	0,806	0,718	0,799	0,750	0,778
89	0,902	0,894	0,863	0,848	0,835	0,860	0,829	0,837	0,793	0,813	0,762	0,820	0,753	0,753	0,761	0,731	0,746	0,720	0,699	0,737
90	0,902	0,889	0,874	0,882	0,843	0,840	0,826	0,799	0,823	0,826	0,796	0,802	0,791	0,807	0,757	0,725	0,719	0,778	0,774	0,790
91	0,932	0,901	0,891	0,862	0,877	0,830	0,844	0,823	0,834	0,806	0,826	0,820	0,775	0,796	0,817	0,741	0,709	0,783	0,718	0,708
92	0,907	0,860	0,865	0,853	0,830	0,811	0,838	0,803	0,812	0,778	0,799	0,830	0,795	0,745	0,776	0,793	0,756	0,743	0,743	0,769
93	0,925	0,912	0,905	0,883	0,865	0,856	0,853	0,829	0,821	0,836	0,839	0,812	0,790	0,776	0,762	0,800	0,800	0,797	0,800	0,740
94	0,917	0,899	0,905	0,880	0,873	0,847	0,839	0,838	0,835	0,789	0,815	0,803	0,820	0,804	0,786	0,790	0,728	0,731	0,775	0,781
95	0,937	0,933	0,898	0,891	0,906	0,886	0,882	0,864	0,851	0,854	0,850	0,848	0,885	0,871	0,835	0,820	0,791	0,800	0,843	0,793
96	0,959	0,977	0,957	0,933	0,938	0,927	0,944	0,909	0,882	0,917	0,878	0,900	0,835	0,845	0,818	0,855	0,803	0,847	0,814	0,748
97	0,972	0,965	0,967	0,960	0,949	0,954	0,941	0,922	0,955	0,916	0,948	0,922	0,940	0,902	0,925	0,898	0,887	0,888	0,869	0,827
98	0,963	0,961	0,956	0,950	0,948	0,947	0,943	0,947	0,928	0,914	0,931	0,916	0,880	0,908	0,860	0,877	0,902	0,840	0,877	0,859
99	0,965	0,964	0,951	0,934	0,935	0,892	0,894	0,860	0,935	0,925	0,862	0,862	0,826	0,893	0,826	0,833	0,814	0,834	0,781	0,817
100	0,969	0,963	0,961	0,954	0,954	0,949	0,957	0,949	0,897	0,915	0,938	0,929	0,888	0,926	0,819	0,886	0,811	0,786	0,818	0,862
medián	0,912	0,888	0,873	0,860	0,863	0,851	0,841	0,830	0,825	0,816	0,815	0,813	0,794	0,797	0,781	0,784	0,771	0,773	0,779	0,773
průměr	0,904	0,883	0,872	0,858	0,854	0,844	0,838	0,830	0,825	0,812	0,807	0,805	0,793	0,794	0,784	0,776	0,765	0,776	0,765	0,763

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby při aplikaci Gaussovského šumu.

Příloha D: *Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby při aplikaci Gaussovského šumu.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
1	454,943	834,907	1435,295	1597,430	1766,534	2181,466	2508,976	2643,903	2643,414	2659,511	3012,933	3251,387	2844,105	3113,942	3540,484	3279,106	3538,773	3586,638	3603,508	3648,887
2	880,039	1510,509	1814,942	2565,990	2269,591	3321,810	2528,155	3286,369	2861,678	3827,599	3226,919	4223,363	4157,975	3724,521	4556,092	4494,597	4271,745	4728,618	3866,239	4401,787
3	794,897	1308,451	1564,344	2092,817	2188,007	2417,486	2662,892	2699,618	2945,483	3217,359	3188,908	3188,154	3248,024	3600,740	3392,462	3228,855	3581,768	3340,274	3395,668	3723,024
4	839,042	1386,252	1975,218	2256,365	2528,550	2891,360	3168,714	3173,830	3647,486	3694,192	3006,154	3260,858	3959,120	4128,181	3466,704	3340,242	3705,515	3704,591	4342,822	4551,328
5	735,253	1402,904	1803,790	2243,419	2513,858	2561,924	3030,793	3195,033	3381,780	2679,832	3524,893	3557,961	2823,531	2453,213	3974,119	2487,701	4200,266	3279,186	4149,656	3558,987
6	1383,742	1880,840	2146,497	2147,642	2394,496	2602,784	2547,487	2924,026	2918,946	2916,733	3181,306	3098,274	3159,775	3082,942	3319,959	3547,734	3459,105	3667,863	3557,845	3563,757
7	658,065	3720,683	1382,324	4023,680	4241,947	4375,941	2570,518	3817,923	4357,580	4593,506	4800,305	4923,332	4118,624	4841,839	3483,952	4238,115	5302,266	5032,953	3912,675	2674,929
8	1693,624	1665,331	2301,087	2262,586	2328,513	2804,822	2887,146	2997,205	3177,672	3137,049	3370,239	3207,310	3199,019	3270,688	3449,530	3394,199	3588,673	3501,992	3452,156	3578,810
9	1431,276	1430,424	1601,626	1948,339	1999,617	2042,565	2153,817	2326,664	2284,351	2609,841	2162,157	2644,262	2603,082	2727,510	2863,363	3313,272	2766,996	3322,662	2707,399	2991,067
10	499,913	933,999	1807,705	2012,562	1431,009	1418,537	2170,641	1654,141	1726,289	1476,016	2582,292	2289,761	2752,315	1756,324	1910,847	2176,819	2945,946	1686,108	1970,195	2141,130
11	568,808	1053,422	1387,117	1680,367	1930,968	2062,196	2502,103	2469,814	2526,527	2633,677	2730,559	2900,608	3067,077	3021,473	1765,997	3244,965	3061,526	3321,545	2860,165	3286,063
12	1215,802	1423,915	1814,719	2191,733	1808,437	1851,439	2005,333	2386,557	2071,297	2701,716	2620,012	2828,231	2306,701	2831,359	2895,993	3023,509	3042,371	3199,185	3316,004	3357,533
13	629,080	1010,443	1170,446	2807,038	2951,121	2932,993	2952,778	2076,714	3084,888	3369,290	2183,576	2427,072	3857,337	2525,964	3244,183	3462,728	3487,169	3740,956	2704,245	3672,789
14	317,145	556,285	643,036	1106,523	1083,081	1391,162	1656,172	1605,246	1913,108	1932,444	2146,565	1351,603	2190,702	2367,963	2307,051	2477,796	2499,076	2478,279	1647,795	1598,745
15	451,494	477,988	654,445	940,122	889,780	907,271	1503,910	1549,476	1837,953	1792,239	1909,314	1215,563	1994,196	2080,854	2085,343	2081,031	1393,704	2001,191	2382,810	2151,920
16	186,253	298,651	378,451	1169,970	1365,855	1616,879	1871,146	996,866	2223,045	2456,939	2463,483	2621,871	2750,834	2891,094	2808,328	3683,710	2986,148	2351,569	3166,794	3095,125
17	594,386	808,179	1800,265	1024,999	1096,876	1125,052	1284,401	3752,622	1393,764	1571,439	1751,122	1572,881	1697,206	1744,090	1678,870	1695,013	2768,851	1833,646	2972,050	1851,863
18	783,544	1238,703	1590,181	1755,520	1998,140	2222,699	2122,260	2298,412	2455,079	2678,113	2673,243	2738,355	2904,020	2987,587	2967,595	3212,823	3093,382	3230,458	4425,050	3226,419
19	529,729	1096,842	1121,451	1644,015	1481,720	1814,933	1947,062	2211,078	2531,363	2720,042	2402,490	3313,006	3057,124	2290,221	3112,874	3099,959	3161,651	3387,165	3522,582	3568,118
20	323,444	415,776	841,689	765,589	912,488	1004,149	1490,827	1532,881	1585,046	1681,894	1806,318	1919,535	2026,557	2130,700	2228,585	2167,802	2006,990	2351,040	2230,529	2299,535
21	503,186	865,405	1590,002	1949,584	1963,936	2222,164	2350,407	2474,207	2621,070	2953,847	2872,073	3162,669	2899,099	2108,797	2238,962	4181,618	3312,294	2272,885	3293,376	2545,256
22	540,583	855,874	803,360	1233,917	1381,663	921,628	1797,874	1225,757	1537,442	2093,844	2187,705	2230,822	2194,052	2372,817	2384,212	2393,018	2402,046	2351,306	2551,104	2490,012
23	1076,688	1267,826	1453,375	1803,979	1839,002	2038,988	2209,521	2446,092	2757,441	2480,620	2556,292	3396,914	2912,240	2829,639	2856,051	3020,316	3277,380	2869,672	3606,140	3433,972
24	427,613	830,543	1117,789	1405,889	1652,391	2191,814	1738,284	1982,922	2320,935	2125,595	2241,921	2041,787	2570,029	2478,149	3051,502	3082,766	2846,431	2948,866	2380,801	2257,667
25	1169,741	3796,977	3918,038	3819,461	3955,562	4165,292	3830,531	3941,053	2761,413	4396,989	4137,955	4035,730	4500,721	4626,079	3010,096	4277,873	4529,769	3242,664	3593,293	4728,750

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby při aplikaci Gaussovského šumu.

26	953,693	1674,493	2087,162	1945,775	2192,274	2328,479	2374,390	2416,682	2514,428	2403,439	2676,563	2658,440	2588,219	2767,875	3035,769	2806,071	2808,356	3187,172	2949,264	2707,307
27	884,699	1858,288	1974,807	2119,582	2224,740	2649,095	2742,012	2721,760	2934,694	2987,529	3083,292	3112,862	3015,809	3101,924	3224,296	3233,965	2104,138	2992,400	3148,936	3453,034
28	439,672	1046,856	1392,153	1757,579	2103,190	2121,948	2652,906	2721,577	2794,575	2921,803	3007,547	3183,658	3275,630	3243,360	3367,171	3443,449	3446,153	3579,747	3338,689	3712,507
29	945,167	1087,952	1597,246	1935,460	2429,836	2545,552	2916,067	2990,462	3294,063	3429,523	3349,107	3397,017	3626,550	3666,718	3431,342	3650,987	3702,939	3864,593	3918,846	3883,612
30	805,509	1146,055	1418,173	1473,150	1922,802	2002,254	2244,455	2298,273	2588,243	2696,045	2841,955	3117,174	2887,470	3179,994	3447,388	3150,638	3146,386	3745,171	3290,050	3640,335
31	768,166	1134,566	1467,155	1658,752	1762,651	1966,080	2195,710	2227,244	2492,384	2647,173	2787,046	2899,523	2837,131	3008,975	3129,975	3209,172	3183,348	3290,234	3474,105	3529,199
32	597,764	1185,646	1631,886	1623,842	1765,519	1902,054	2101,598	2201,431	2375,184	2488,468	2435,295	2728,494	2604,427	2761,460	2715,720	3058,611	3014,588	3163,309	3084,249	3104,317
33	1214,132	1284,396	1624,302	1764,517	1967,967	2126,448	2673,078	2615,041	2542,903	2774,322	2836,583	2760,347	2972,195	3058,670	3344,296	3526,934	3244,554	3644,316	3609,557	3462,480
34	720,718	1032,331	1243,771	1680,710	1805,877	2148,369	2185,619	2679,907	2735,216	2675,165	2806,538	2760,004	2866,583	3171,292	3036,982	3325,465	3104,606	3315,058	3069,507	3543,052
35	712,013	1013,897	1399,722	1920,747	2108,356	2304,570	2510,718	2617,538	2818,223	2950,096	3245,261	3148,549	3413,225	3511,112	3407,506	3700,804	3552,518	3757,938	3801,150	3962,424
36	754,890	1135,162	1582,877	1847,598	2218,910	2292,671	2650,931	2761,753	3147,900	3002,049	3284,295	3468,568	3312,768	3505,359	3618,514	3485,956	3877,082	4029,181	3990,372	3893,662
37	717,026	1150,751	1271,448	1780,958	1915,210	2301,294	2517,052	2760,294	2948,314	3058,595	3323,585	3301,580	3526,801	3574,132	3516,607	3798,960	3900,458	3794,490	3937,888	3924,888
38	679,795	984,492	1351,181	1641,910	1778,632	1917,447	2098,942	2493,130	2258,489	2477,605	2537,081	2563,747	2628,184	2618,885	2833,336	2675,190	2462,247	2630,241	3099,753	2421,101
39	449,601	578,831	890,511	1149,546	1185,387	1432,660	1546,737	1575,205	1870,816	2934,937	1995,569	2277,936	2154,467	3396,264	2492,669	2514,182	3592,051	3467,677	3619,429	2893,880
40	663,034	899,399	1391,286	1525,108	1802,509	2094,823	2371,231	2329,823	2498,862	2765,384	2758,918	2749,355	2940,592	3088,191	3093,412	2196,575	3216,665	3264,018	3122,540	3391,078
41	627,604	1035,543	1357,186	1704,758	2134,451	2325,157	1252,683	1323,706	1291,464	1398,524	1483,869	3143,842	3240,706	1210,217	1272,853	3392,733	1257,051	1246,320	3536,543	1586,768
42	389,926	461,651	713,038	1047,029	1475,837	1731,719	1813,177	2017,906	2156,078	2165,369	2404,658	2509,330	2614,196	2622,915	2778,103	2796,245	3638,928	2815,452	2889,852	3010,898
43	746,209	916,998	1144,347	1252,156	1540,630	1750,291	1752,705	1889,443	2037,475	3076,115	3249,139	2193,486	3415,711	2547,206	3661,769	2499,345	2466,342	2162,461	2628,639	2371,677
44	567,170	890,131	1127,473	1395,082	1526,748	1497,738	1723,685	2034,218	2071,764	2085,135	2090,763	2076,519	2278,966	2416,593	2535,055	2588,518	2550,564	2651,134	2731,763	2737,744
45	588,984	897,927	1388,050	1483,305	1552,285	1843,480	2010,379	2119,705	2180,151	2459,655	2439,204	2609,221	2870,311	2805,817	2872,346	2936,356	3125,358	3045,478	3056,904	3035,098
46	1090,033	1412,538	1932,504	2218,775	2599,311	2855,364	2940,564	3139,564	3585,096	3646,463	3699,753	3760,314	3902,566	4141,723	4171,891	4479,426	4553,772	4401,030	4916,990	4549,418
47	690,629	1143,685	1289,642	1563,780	1787,677	1969,557	2480,398	2642,240	2659,404	2864,553	2976,106	3074,194	3346,683	3201,184	3411,313	3487,957	3535,772	3657,740	4612,401	3676,952
48	1249,779	1499,804	1735,387	1784,534	2201,611	2686,175	2668,039	2488,127	2827,144	3067,403	2722,412	3134,964	3388,377	3286,179	3179,932	3329,811	3119,059	3168,473	3291,105	3167,025
49	203,006	410,867	373,367	404,515	504,668	352,357	448,318	917,406	734,981	1422,613	512,607	1578,029	1403,759	1247,882	1532,705	1429,941	1115,084	1613,407	2200,874	2351,738
50	274,785	308,588	543,016	300,540	488,968	519,527	1347,189	1408,047	1444,362	1429,841	1704,542	1942,636	1355,577	2220,518	2435,050	2743,879	2692,055	2888,319	2564,539	3733,161
51	562,616	953,297	1034,550	1406,997	1361,530	1849,145	1972,116	2509,428	2364,464	2810,547	2420,624	2666,240	3132,333	3130,889	3143,869	3337,723	2995,768	3963,606	3830,952	4193,245
52	2414,719	4026,611	2779,582	2881,884	3654,533	4705,918	4696,059	3592,110	4045,496	4409,236	5977,940	5727,800	5544,473	6485,441	6931,419	3808,456	7443,576	4932,899	4601,045	7558,706

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby při aplikaci Gaussovského šumu.

53	1855,121	2151,358	2239,884	2489,838	2424,404	2726,928	2811,342	3146,082	2831,303	3624,557	2756,354	3462,735	3682,952	4171,505	3756,982	3624,615	4882,698	3833,597	3521,241	3953,133
54	357,028	296,844	427,081	640,374	526,313	1409,909	1034,303	1170,977	1212,708	1871,131	1348,046	1840,319	2716,213	2027,020	1672,882	2617,901	2135,345	2434,526	2590,823	2144,268
55	265,255	343,153	542,588	647,848	782,260	847,028	658,291	1268,683	1208,951	1466,632	1778,545	1283,986	1055,716	1527,749	2123,000	1880,876	2198,592	1991,831	1900,740	2005,355
56	1003,607	1293,156	1459,567	1740,496	2199,857	3143,902	2511,568	2680,209	2261,426	2890,210	3685,358	3523,569	3220,381	4436,681	3859,782	4816,960	4551,179	4281,740	4822,411	4982,756
57	1232,985	1877,815	2827,212	3050,853	3169,626	3063,855	3201,935	3680,835	3863,245	3523,126	4082,975	4286,815	4092,765	5036,009	4336,755	4631,209	5136,405	5333,333	5240,242	5321,175
58	1578,030	1758,925	2246,198	3079,371	2472,652	3114,272	3444,835	4421,883	3305,059	3441,211	4551,938	4445,421	3671,523	4757,503	3682,468	5103,826	4316,220	5214,663	4974,976	5303,313
59	839,059	1136,496	1162,104	1776,754	1726,689	1839,810	1818,868	2035,586	2071,417	2094,139	2253,414	2511,581	2213,672	2648,971	2644,000	2513,158	2808,200	2536,424	2300,541	2932,335
60	182,125	202,721	186,358	392,297	129,026	555,322	275,386	551,147	774,572	798,942	677,508	1096,303	991,945	1250,918	1304,196	1383,019	696,059	1687,927	1669,370	1998,523
61	269,108	323,894	241,253	412,808	372,275	561,471	415,708	522,622	549,441	758,176	1166,281	1042,396	839,226	1291,405	1015,460	1934,425	964,969	1330,987	1919,162	2249,056
62	189,876	174,607	384,344	540,287	401,462	802,851	1122,316	1149,388	882,120	1916,403	1779,868	1662,530	1908,735	2287,140	1922,525	2421,524	2572,242	2757,254	2788,726	3181,342
63	492,343	751,870	1214,338	1329,094	1323,341	1575,990	1440,530	1900,331	1741,401	1449,947	2140,582	2294,965	2561,543	2508,619	2656,450	3033,369	2550,641	3350,488	2706,139	2860,273
64	533,024	482,876	881,528	856,938	947,790	877,715	1087,375	1355,094	981,910	1832,633	1226,831	2606,571	1547,035	1813,457	2105,693	2658,704	3692,322	2576,001	2900,536	3448,391
65	332,054	1692,032	913,262	951,592	1598,445	1209,925	1417,550	2045,060	2052,238	2167,641	2420,920	2247,015	2840,553	2370,168	2775,023	2867,352	3771,800	3636,320	3293,056	3880,137
66	250,134	936,305	811,320	1742,497	1066,518	1483,054	2009,844	1259,285	2504,742	2374,046	2176,643	2924,878	2860,575	3527,908	3701,903	3041,844	4024,768	3125,855	4145,376	4033,923
67	800,043	2248,133	1152,424	786,849	1104,809	2020,034	2216,600	1291,729	2226,476	2948,455	2154,147	2332,895	2979,943	3357,564	4020,272	3996,464	4037,135	3450,306	3666,578	3393,940
68	2591,880	2979,211	2525,605	3590,437	4473,681	3356,245	3141,734	4157,201	5602,864	6081,658	6738,349	3690,440	5564,977	4542,993	4070,791	6004,888	4285,244	4672,940	7221,108	7930,184
69	749,413	989,935	1604,481	2202,770	2409,046	2304,104	1845,586	2244,987	2605,570	2595,819	2436,902	2896,766	2993,741	3048,880	3327,173	3446,247	3735,984	3572,112	3323,983	3241,714
70	404,207	433,607	526,423	568,175	636,442	589,712	778,450	736,210	830,150	718,187	893,734	844,275	889,947	903,147	973,992	1027,298	1261,529	958,867	1113,460	1092,214
71	236,114	309,509	369,845	360,656	619,586	528,786	592,944	495,936	701,905	947,901	1177,719	821,614	976,022	953,832	901,712	1240,515	1103,811	1111,940	1457,905	1133,575
72	319,533	356,475	520,570	594,101	437,813	425,324	625,012	683,277	623,701	1111,542	903,833	735,545	1065,674	1065,249	1251,273	1228,241	1511,568	1342,168	1729,060	1030,999
73	179,234	174,060	255,426	226,075	305,052	454,925	373,040	493,087	381,059	537,364	631,163	587,202	483,954	714,991	616,815	602,052	728,846	660,545	1099,475	653,033
74	273,911	273,392	343,546	364,455	378,940	426,176	562,230	681,242	565,721	705,966	610,634	599,309	742,748	751,746	882,178	895,746	907,713	1268,780	1439,356	1181,645
75	303,338	351,645	698,746	583,686	1049,524	1328,977	1027,497	1225,846	976,637	1068,666	1470,493	1708,351	1286,189	1759,882	1680,419	1822,547	1611,790	1682,976	2074,600	1825,501
76	298,566	357,294	489,376	367,772	689,982	510,082	576,835	636,432	635,727	745,181	594,966	838,221	609,694	794,016	968,354	889,950	898,612	889,438	1340,236	875,775
77	266,887	350,027	408,079	377,596	466,674	698,106	712,324	618,899	676,891	679,994	843,149	674,722	724,470	1206,020	1272,938	1023,896	720,537	1085,951	1473,488	1212,550
78	289,463	304,422	593,971	641,035	672,022	1328,742	1032,466	1495,921	1878,669	1876,681	1408,225	1903,483	1984,216	1979,035	2070,817	2221,846	2210,449	2106,018	2281,952	2421,938
79	286,412	332,351	645,835	636,845	637,232	1479,286	650,563	1468,371	1318,240	1337,642	1542,719	1443,593	1604,517	1730,238	2590,680	1903,750	2098,126	1859,447	2306,136	2270,064

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby při aplikaci Gaussovského šumu.

80	331,627	361,333	406,943	492,071	768,536	861,339	977,884	1650,111	1216,656	1758,802	1567,261	990,658	1584,552	1714,310	2266,495	1711,949	1933,306	2098,130	1786,204	2589,756
81	204,091	91,228	230,047	121,572	157,355	182,355	277,147	219,555	274,064	274,096	408,241	356,510	275,700	646,779	576,096	642,208	685,304	559,471	712,842	748,239
82	1195,276	1499,061	1646,517	2095,816	1686,652	1759,798	1863,004	3114,392	2028,175	2841,208	3286,287	2578,807	2293,770	3905,687	2618,926	3860,985	4629,337	2862,939	4230,308	3297,346
83	1227,342	1371,224	1622,258	1526,317	1957,743	1552,288	2496,725	1794,777	2828,163	3128,017	1960,202	3694,742	2169,134	2299,952	4819,951	3534,044	2426,521	2708,027	3042,735	3274,080
84	366,208	672,086	741,533	877,405	954,604	1414,482	1445,579	1476,401	2220,071	2183,042	2383,269	2012,324	2572,985	2684,230	2739,216	3215,375	3547,831	3841,650	3532,493	3956,870
85	415,788	370,349	872,452	1064,117	1002,095	1225,474	1538,545	1266,366	1879,367	2014,496	2392,344	2248,198	2775,299	2980,641	3002,090	3429,830	3806,887	3456,353	3643,424	3686,225
86	299,374	427,476	669,457	699,002	1196,881	703,645	1389,485	1670,227	1820,079	1832,315	1713,259	1883,594	2566,078	3032,792	3155,132	2974,870	3031,989	3175,425	3656,472	3719,841
87	715,564	812,772	1193,614	1416,394	1406,497	990,183	1794,741	1793,904	1744,247	1597,873	1903,449	1726,750	2364,602	2330,564	2882,898	3524,737	2934,816	3099,683	4625,410	3008,258
88	565,788	786,767	1078,283	1089,884	1457,404	1446,000	1404,513	1650,069	1546,826	2081,805	2859,638	4666,336	2970,320	3139,084	2501,828	2391,106	3538,610	2611,262	3277,475	2815,680
89	563,236	646,878	1172,594	1406,564	1683,986	1353,659	1874,344	1727,832	2257,530	2100,019	2685,513	1985,760	2954,314	2906,016	2943,977	3253,014	3103,812	3511,841	3963,156	3300,007
90	553,396	901,768	1043,762	986,126	1593,050	1674,388	1909,879	2205,634	2047,542	2001,241	2493,768	2265,142	2436,232	2181,473	3078,338	3589,958	3651,580	2764,775	2978,848	2583,145
91	427,108	926,432	1133,973	1533,023	1359,330	2033,723	1841,773	2054,796	2175,309	2358,680	2267,495	2464,760	2896,370	2926,233	2517,238	3409,039	3830,617	3109,865	3988,583	4198,489
92	824,602	1350,862	1352,181	1628,102	2031,342	2274,592	2096,831	2529,548	2361,072	2955,511	2662,228	2384,702	2730,818	3445,764	3359,758	3005,353	3580,385	3611,991	3812,311	3262,635
93	646,175	852,058	1006,542	1233,603	1506,369	1668,200	1740,519	2212,238	2323,515	2152,849	2201,747	2739,915	2757,961	3046,214	3281,632	3011,533	3156,902	3163,845	2949,709	3886,625
94	584,714	844,725	829,142	1203,993	1365,528	1755,741	1750,656	1893,728	2005,455	2632,753	2236,883	2722,189	2243,839	2682,695	2803,256	3079,782	3723,460	3902,342	3191,401	3168,695
95	606,295	776,761	1120,199	1433,700	1349,060	1436,795	1651,742	1838,893	2161,688	2251,449	2267,757	2398,254	1841,689	2090,501	2523,564	2774,551	3360,575	3001,321	2631,366	3157,969
96	368,540	199,335	409,304	644,838	647,687	816,394	652,524	982,691	1241,943	997,309	1433,872	1203,753	1859,639	1760,980	2205,382	1723,444	2206,964	1964,688	2233,619	2974,757
97	208,891	262,879	230,158	346,085	456,470	437,001	625,922	758,220	455,843	873,359	468,052	813,184	653,964	1130,823	891,092	1199,671	1432,001	1345,404	1602,232	1993,436
98	215,764	244,038	319,238	428,851	466,604	519,812	580,247	463,026	789,449	946,045	726,650	847,116	1436,605	960,684	1529,095	1537,531	1182,283	1945,383	1568,425	1725,429
99	204,525	234,653	374,614	560,855	613,725	1122,609	1023,248	1341,573	569,103	708,814	1438,127	1413,589	1737,949	1244,671	1847,013	1822,012	1901,451	1718,682	2437,549	2116,330
100	145,385	198,035	219,007	291,828	305,252	393,622	272,905	391,924	991,506	858,052	614,139	695,250	1176,297	729,748	1725,476	1132,574	2088,736	2337,268	2016,674	1577,630
medián	567,989	909,383	1166,275	1453,425	1546,458	1757,769	1867,075	2040,323	2200,111	2430,189	2403,574	2571,277	2740,826	2705,870	2859,707	3037,606	3104,209	3117,860	3135,738	3175,018
průměr	664,481	999,547	1192,022	1437,498	1569,729	1755,922	1849,719	2016,127	2109,790	2315,595	2368,105	2463,422	2553,442	2652,599	2736,674	2868,687	2972,454	2912,460	3091,088	3094,913

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

Příloha E: *Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02
1	0,903	0,935	0,951	0,885	0,896	0,902	0,851	0,893	0,853	0,823	0,834	0,835	0,847	0,799	0,796	0,785	0,789	0,764	0,785	0,785
2	0,904	0,885	0,886	0,881	0,862	0,867	0,867	0,840	0,856	0,818	0,818	0,832	0,809	0,809	0,834	0,812	0,813	0,789	0,714	0,776
3	0,916	0,871	0,882	0,873	0,844	0,842	0,857	0,812	0,844	0,802	0,723	0,767	0,768	0,737	0,766	0,752	0,694	0,731	0,717	0,676
4	0,899	0,867	0,762	0,771	0,821	0,816	0,813	0,761	0,793	0,678	0,739	0,733	0,715	0,713	0,674	0,706	0,688	0,653	0,671	0,666
5	0,898	0,854	0,825	0,840	0,815	0,794	0,788	0,751	0,742	0,673	0,714	0,654	0,604	0,625	0,609	0,586	0,559	0,550	0,552	0,523
6	0,901	0,885	0,870	0,865	0,873	0,842	0,841	0,809	0,832	0,833	0,810	0,807	0,834	0,803	0,828	0,801	0,778	0,792	0,762	0,773
7	0,950	0,951	0,940	0,936	0,937	0,933	0,923	0,522	0,910	0,518	0,913	0,513	0,913	0,915	0,497	0,886	0,484	0,885	0,483	0,480
8	0,794	0,763	0,793	0,747	0,851	0,793	0,739	0,821	0,747	0,804	0,737	0,701	0,792	0,723	0,721	0,693	0,749	0,756	0,746	0,674
9	0,850	0,855	0,846	0,889	0,852	0,841	0,876	0,837	0,865	0,841	0,835	0,838	0,827	0,823	0,826	0,834	0,815	0,827	0,831	0,813
10	0,930	0,914	0,901	0,572	0,838	0,873	0,809	0,846	0,738	0,742	0,822	0,592	0,734	0,383	0,411	0,751	0,805	0,349	0,792	0,768
11	0,908	0,918	0,886	0,903	0,883	0,855	0,868	0,848	0,852	0,827	0,823	0,829	0,850	0,830	0,826	0,787	0,794	0,794	0,796	0,802
12	0,952	0,937	0,938	0,931	0,932	0,921	0,915	0,889	0,902	0,900	0,896	0,897	0,891	0,879	0,886	0,885	0,885	0,880	0,882	0,871
13	0,931	0,939	0,922	0,929	0,714	0,602	0,695	0,695	0,684	0,693	0,675	0,668	0,868	0,862	0,863	0,668	0,655	0,670	0,650	0,651
14	0,958	0,959	0,956	0,930	0,948	0,948	0,915	0,914	0,925	0,915	0,905	0,890	0,893	0,906	0,887	0,851	0,865	0,844	0,859	0,836
15	0,941	0,920	0,910	0,932	0,926	0,906	0,910	0,907	0,911	0,879	0,879	0,883	0,887	0,844	0,899	0,830	0,863	0,853	0,839	0,863
16	0,895	0,942	0,900	0,944	0,941	0,924	0,929	0,879	0,920	0,924	0,916	0,889	0,894	0,901	0,494	0,802	0,871	0,899	0,787	0,866
17	0,943	0,948	0,949	0,946	0,939	0,938	0,933	0,875	0,924	0,925	0,919	0,878	0,903	0,908	0,911	0,850	0,897	0,895	0,578	0,888
18	0,943	0,927	0,927	0,934	0,928	0,919	0,924	0,907	0,919	0,907	0,883	0,896	0,898	0,895	0,883	0,888	0,875	0,865	0,887	0,866
19	0,942	0,895	0,892	0,864	0,887	0,891	0,865	0,864	0,851	0,805	0,823	0,843	0,823	0,801	0,785	0,787	0,782	0,785	0,761	0,741
20	0,981	0,978	0,979	0,975	0,972	0,972	0,973	0,969	0,968	0,963	0,965	0,962	0,898	0,961	0,942	0,919	0,906	0,917	0,883	0,913
21	0,966	0,959	0,914	0,926	0,901	0,888	0,905	0,849	0,866	0,878	0,876	0,841	0,848	0,833	0,833	0,814	0,826	0,796	0,775	0,816
22	0,952	0,948	0,945	0,917	0,931	0,906	0,935	0,902	0,899	0,917	0,916	0,930	0,926	0,897	0,925	0,883	0,829	0,881	0,891	0,878
23	0,960	0,920	0,946	0,946	0,944	0,931	0,931	0,925	0,922	0,922	0,912	0,907	0,901	0,905	0,853	0,894	0,896	0,854	0,886	0,886
24	0,946	0,948	0,947	0,859	0,908	0,895	0,921	0,905	0,878	0,905	0,900	0,891	0,893	0,875	0,865	0,864	0,854	0,857	0,870	0,857
25	0,934	0,740	0,670	0,679	0,668	0,896	0,655	0,655	0,840	0,717	0,658	0,844	0,883	0,877	0,634	0,642	0,620	0,639	0,875	0,642

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

26	0,935	0,912	0,918	0,930	0,899	0,909	0,910	0,895	0,885	0,887	0,867	0,882	0,878	0,870	0,847	0,872	0,871	0,871	0,849	0,815
27	0,914	0,911	0,807	0,892	0,883	0,912	0,880	0,881	0,889	0,876	0,871	0,870	0,826	0,855	0,879	0,839	0,809	0,836	0,828	0,820
28	0,979	0,959	0,959	0,956	0,954	0,955	0,939	0,951	0,937	0,940	0,945	0,929	0,936	0,930	0,918	0,913	0,925	0,923	0,909	0,902
29	0,950	0,942	0,952	0,935	0,935	0,930	0,927	0,919	0,915	0,907	0,903	0,907	0,898	0,893	0,901	0,886	0,885	0,869	0,880	0,872
30	0,948	0,906	0,901	0,949	0,926	0,894	0,920	0,890	0,906	0,876	0,902	0,893	0,881	0,880	0,885	0,869	0,842	0,878	0,871	0,853
31	0,952	0,947	0,939	0,924	0,911	0,925	0,875	0,918	0,903	0,916	0,907	0,876	0,894	0,890	0,890	0,889	0,869	0,854	0,864	0,869
32	0,948	0,935	0,915	0,944	0,924	0,930	0,924	0,902	0,909	0,906	0,891	0,864	0,890	0,883	0,896	0,876	0,885	0,865	0,874	0,840
33	0,964	0,936	0,886	0,950	0,897	0,927	0,878	0,872	0,793	0,792	0,803	0,862	0,800	0,606	0,764	0,789	0,801	0,784	0,786	0,757
34	0,929	0,939	0,875	0,856	0,933	0,912	0,912	0,914	0,888	0,898	0,896	0,892	0,875	0,898	0,887	0,867	0,873	0,859	0,863	0,850
35	0,904	0,957	0,940	0,939	0,929	0,930	0,929	0,885	0,933	0,929	0,926	0,918	0,909	0,898	0,854	0,906	0,899	0,886	0,893	0,876
36	0,950	0,928	0,943	0,933	0,936	0,930	0,931	0,929	0,923	0,917	0,916	0,902	0,901	0,894	0,882	0,881	0,872	0,865	0,863	0,854
37	0,959	0,956	0,946	0,946	0,942	0,939	0,935	0,929	0,924	0,899	0,905	0,895	0,901	0,880	0,893	0,890	0,879	0,882	0,857	0,871
38	0,944	0,931	0,933	0,919	0,911	0,910	0,905	0,889	0,888	0,884	0,883	0,873	0,862	0,873	0,864	0,858	0,831	0,842	0,836	0,837
39	0,948	0,948	0,923	0,938	0,892	0,891	0,896	0,663	0,880	0,874	0,857	0,887	0,840	0,863	0,819	0,846	0,847	0,827	0,828	0,818
40	0,937	0,933	0,912	0,900	0,916	0,893	0,887	0,860	0,876	0,866	0,866	0,860	0,838	0,835	0,834	0,831	0,821	0,815	0,815	0,796
41	0,935	0,768	0,901	0,893	0,899	0,895	0,870	0,890	0,867	0,882	0,872	0,859	0,852	0,856	0,857	0,832	0,832	0,863	0,821	0,858
42	0,949	0,966	0,963	0,933	0,932	0,944	0,948	0,923	0,954	0,928	0,939	0,947	0,883	0,909	0,892	0,878	0,893	0,879	0,841	0,889
43	0,959	0,938	0,924	0,915	0,899	0,917	0,880	0,909	0,855	0,859	0,859	0,842	0,843	0,833	0,858	0,850	0,809	0,812	0,777	0,797
44	0,937	0,905	0,925	0,931	0,930	0,922	0,919	0,904	0,899	0,887	0,901	0,900	0,883	0,886	0,878	0,880	0,877	0,872	0,863	0,860
45	0,945	0,936	0,928	0,928	0,914	0,924	0,906	0,905	0,891	0,892	0,885	0,875	0,876	0,871	0,861	0,865	0,862	0,834	0,832	0,856
46	0,941	0,930	0,926	0,906	0,902	0,898	0,852	0,848	0,865	0,847	0,872	0,863	0,853	0,858	0,813	0,839	0,812	0,811	0,824	0,821
47	0,888	0,844	0,810	0,837	0,820	0,818	0,805	0,787	0,764	0,760	0,748	0,745	0,721	0,698	0,672	0,662	0,672	0,661	0,616	0,645
48	0,849	0,814	0,796	0,805	0,785	0,777	0,787	0,802	0,795	0,736	0,761	0,747	0,725	0,744	0,734	0,726	0,690	0,701	0,703	0,713
49	0,965	0,967	0,862	0,927	0,928	0,923	0,927	0,927	0,931	0,927	0,926	0,921	0,923	0,927	0,919	0,921	0,921	0,927	0,918	0,912
50	0,974	0,976	0,858	0,945	0,934	0,938	0,942	0,943	0,937	0,930	0,933	0,942	0,931	0,928	0,929	0,935	0,937	0,932	0,932	0,935
51	0,948	0,961	0,852	0,913	0,907	0,911	0,911	0,901	0,907	0,908	0,910	0,902	0,905	0,905	0,906	0,905	0,907	0,905	0,906	0,907
52	0,813	0,841	0,670	0,740	0,738	0,750	0,741	0,739	0,741	0,740	0,737	0,737	0,738	0,751	0,750	0,740	0,742	0,741	0,733	0,744

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

53	0,856	0,848	0,667	0,710	0,713	0,723	0,711	0,719	0,717	0,709	0,713	0,722	0,718	0,719	0,715	0,717	0,713	0,710	0,705	0,714
54	0,948	0,942	0,789	0,801	0,803	0,801	0,800	0,807	0,801	0,797	0,803	0,803	0,811	0,806	0,804	0,802	0,806	0,807	0,804	0,806
55	0,948	0,942	0,871	0,811	0,811	0,803	0,810	0,808	0,810	0,810	0,809	0,815	0,810	0,820	0,801	0,811	0,815	0,810	0,809	0,807
56	0,892	0,875	0,754	0,700	0,718	0,723	0,724	0,727	0,722	0,732	0,723	0,724	0,727	0,731	0,724	0,727	0,729	0,724	0,720	0,722
57	0,868	0,857	0,698	0,572	0,625	0,630	0,630	0,632	0,600	0,610	0,617	0,610	0,565	0,622	0,566	0,568	0,563	0,610	0,555	0,612
58	0,853	0,839	0,727	0,697	0,703	0,708	0,696	0,697	0,703	0,694	0,702	0,698	0,707	0,698	0,681	0,692	0,694	0,696	0,696	0,687
59	0,885	0,872	0,746	0,749	0,743	0,747	0,747	0,753	0,742	0,745	0,743	0,744	0,749	0,746	0,746	0,744	0,742	0,739	0,739	0,739
60	0,992	0,991	0,895	0,913	0,913	0,913	0,913	0,918	0,914	0,916	0,919	0,911	0,912	0,907	0,914	0,914	0,915	0,912	0,919	0,914
61	0,992	0,991	0,905	0,908	0,908	0,913	0,907	0,912	0,908	0,911	0,912	0,903	0,910	0,903	0,910	0,903	0,908	0,912	0,904	0,909
62	0,976	0,973	0,918	0,896	0,903	0,900	0,896	0,893	0,900	0,895	0,894	0,898	0,895	0,898	0,895	0,897	0,896	0,894	0,897	0,895
63	0,949	0,947	0,864	0,843	0,836	0,839	0,837	0,834	0,837	0,838	0,841	0,836	0,839	0,836	0,839	0,838	0,836	0,840	0,840	0,830
64	0,942	0,940	0,805	0,846	0,846	0,849	0,848	0,848	0,848	0,847	0,849	0,842	0,850	0,845	0,850	0,843	0,848	0,836	0,847	0,843
65	0,946	0,942	0,802	0,871	0,870	0,865	0,868	0,869	0,876	0,868	0,867	0,868	0,869	0,866	0,862	0,863	0,868	0,871	0,874	0,868
66	0,948	0,948	0,851	0,849	0,839	0,845	0,848	0,845	0,848	0,844	0,846	0,841	0,840	0,842	0,829	0,833	0,841	0,838	0,837	0,841
67	0,936	0,939	0,793	0,800	0,804	0,801	0,804	0,802	0,799	0,807	0,800	0,806	0,797	0,800	0,802	0,803	0,802	0,803	0,798	0,799
68	0,895	0,888	0,819	0,761	0,762	0,765	0,762	0,762	0,759	0,762	0,762	0,762	0,760	0,760	0,759	0,765	0,764	0,763	0,756	0,761
69	0,925	0,920	0,751	0,780	0,781	0,781	0,781	0,781	0,781	0,772	0,781	0,772	0,776	0,780	0,781	0,780	0,774	0,778	0,775	0,771
70	0,968	0,967	0,821	0,928	0,929	0,931	0,929	0,930	0,930	0,928	0,930	0,929	0,929	0,934	0,929	0,930	0,928	0,930	0,926	0,928
71	0,959	0,954	0,852	0,720	0,727	0,726	0,804	0,799	0,714	0,720	0,720	0,718	0,716	0,799	0,809	0,711	0,717	0,715	0,796	0,719
72	0,956	0,948	0,852	0,719	0,727	0,719	0,795	0,718	0,788	0,795	0,727	0,716	0,724	0,792	0,730	0,790	0,724	0,735	0,728	0,790
73	0,966	0,962	0,874	0,851	0,855	0,857	0,859	0,850	0,862	0,857	0,857	0,856	0,861	0,870	0,859	0,852	0,858	0,864	0,859	0,863
74	0,953	0,953	0,825	0,841	0,852	0,851	0,855	0,851	0,858	0,849	0,842	0,846	0,857	0,848	0,851	0,854	0,856	0,855	0,859	0,858
75	0,956	0,955	0,814	0,862	0,871	0,868	0,866	0,865	0,861	0,860	0,867	0,863	0,868	0,866	0,873	0,868	0,867	0,873	0,866	0,864
76	0,972	0,967	0,825	0,839	0,836	0,838	0,842	0,848	0,835	0,846	0,849	0,842	0,838	0,840	0,849	0,832	0,852	0,851	0,848	0,846
77	0,962	0,951	0,884	0,848	0,843	0,849	0,853	0,847	0,852	0,853	0,844	0,845	0,857	0,853	0,845	0,849	0,865	0,854	0,851	0,848
78	0,945	0,945	0,799	0,798	0,796	0,791	0,801	0,792	0,792	0,795	0,798	0,794	0,805	0,801	0,794	0,796	0,792	0,798	0,804	0,795
79	0,945	0,942	0,826	0,799	0,797	0,791	0,793	0,797	0,793	0,796	0,795	0,799	0,789	0,801	0,796	0,803	0,799	0,800	0,791	0,801

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

80	0,948	0,945	0,785	0,827	0,818	0,831	0,826	0,830	0,834	0,816	0,831	0,839	0,827	0,837	0,838	0,825	0,822	0,824	0,841	0,835
81	0,987	0,985	0,903	0,890	0,889	0,893	0,900	0,888	0,881	0,898	0,896	0,889	0,899	0,883	0,903	0,881	0,879	0,875	0,891	0,876
82	0,879	0,862	0,740	0,732	0,747	0,740	0,741	0,746	0,742	0,742	0,740	0,744	0,753	0,742	0,735	0,742	0,734	0,741	0,745	0,749
83	0,880	0,875	0,750	0,748	0,746	0,748	0,740	0,743	0,747	0,738	0,747	0,747	0,744	0,741	0,752	0,757	0,749	0,738	0,741	0,745
84	0,949	0,954	0,900	0,906	0,894	0,884	0,887	0,888	0,893	0,879	0,894	0,903	0,886	0,896	0,885	0,886	0,865	0,877	0,892	0,879
85	0,949	0,949	0,890	0,908	0,900	0,902	0,912	0,904	0,908	0,911	0,911	0,910	0,906	0,905	0,902	0,904	0,889	0,901	0,900	0,908
86	0,962	0,963	0,889	0,904	0,904	0,905	0,905	0,904	0,905	0,905	0,906	0,908	0,902	0,905	0,906	0,902	0,900	0,904	0,907	0,906
87	0,931	0,927	0,840	0,840	0,837	0,838	0,839	0,838	0,840	0,837	0,834	0,841	0,838	0,844	0,839	0,846	0,838	0,840	0,840	0,845
88	0,935	0,925	0,836	0,846	0,839	0,847	0,847	0,843	0,848	0,844	0,844	0,844	0,842	0,839	0,840	0,840	0,848	0,842	0,842	0,838
89	0,923	0,912	0,840	0,837	0,841	0,840	0,839	0,841	0,838	0,836	0,838	0,838	0,841	0,840	0,844	0,841	0,841	0,843	0,842	0,837
90	0,923	0,923	0,833	0,821	0,829	0,826	0,827	0,829	0,833	0,835	0,841	0,835	0,838	0,834	0,836	0,839	0,836	0,841	0,834	0,834
91	0,938	0,941	0,875	0,874	0,875	0,878	0,872	0,872	0,873	0,873	0,875	0,880	0,873	0,877	0,872	0,871	0,872	0,876	0,879	0,870
92	0,934	0,930	0,829	0,838	0,833	0,835	0,838	0,827	0,830	0,836	0,828	0,831	0,844	0,831	0,836	0,839	0,821	0,826	0,848	0,846
93	0,935	0,943	0,777	0,792	0,735	0,723	0,722	0,733	0,734	0,775	0,707	0,758	0,787	0,772	0,717	0,782	0,790	0,776	0,769	0,758
94	0,948	0,940	0,718	0,796	0,791	0,799	0,714	0,789	0,755	0,785	0,762	0,794	0,750	0,789	0,797	0,795	0,776	0,800	0,703	0,787
95	0,988	0,979	0,884	0,883	0,885	0,884	0,884	0,891	0,887	0,883	0,885	0,884	0,881	0,882	0,882	0,884	0,884	0,885	0,884	0,887
96	0,987	0,983	0,885	0,883	0,885	0,877	0,884	0,882	0,881	0,888	0,883	0,883	0,882	0,884	0,883	0,885	0,883	0,884	0,883	0,880
97	0,978	0,936	0,761	0,771	0,760	0,770	0,771	0,771	0,776	0,771	0,770	0,766	0,766	0,778	0,769	0,762	0,768	0,772	0,771	0,777
98	0,966	0,913	0,751	0,746	0,768	0,747	0,747	0,760	0,760	0,749	0,747	0,755	0,750	0,749	0,749	0,752	0,744	0,752	0,754	0,763
99	0,972	0,907	0,738	0,751	0,740	0,745	0,735	0,738	0,747	0,745	0,743	0,781	0,764	0,747	0,728	0,758	0,753	0,750	0,746	0,769
100	0,972	0,870	0,780	0,788	0,768	0,766	0,781	0,788	0,749	0,761	0,780	0,753	0,774	0,762	0,762	0,751	0,761	0,791	0,762	0,761
medián	0,946	0,939	0,875	0,873	0,874	0,875	0,866	0,848	0,857	0,847	0,849	0,844	0,849	0,844	0,840	0,839	0,834	0,839	0,835	0,835
průměr	0,936	0,923	0,857	0,856	0,855	0,854	0,850	0,839	0,844	0,834	0,836	0,831	0,835	0,829	0,816	0,821	0,815	0,815	0,809	0,811

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

Příloha F: *Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
1	0,920	0,931	0,938	0,914	0,917	0,917	0,896	0,914	0,897	0,888	0,888	0,892	0,893	0,871	0,867	0,873	0,866	0,855	0,864	0,865
2	0,907	0,900	0,907	0,901	0,892	0,894	0,886	0,884	0,890	0,880	0,881	0,882	0,871	0,866	0,873	0,867	0,875	0,871	0,839	0,863
3	0,918	0,891	0,897	0,901	0,882	0,883	0,898	0,872	0,894	0,889	0,875	0,862	0,871	0,844	0,875	0,862	0,868	0,857	0,840	0,863
4	0,918	0,907	0,853	0,891	0,892	0,897	0,890	0,881	0,878	0,870	0,866	0,861	0,861	0,862	0,855	0,856	0,850	0,842	0,842	0,843
5	0,938	0,927	0,916	0,920	0,905	0,901	0,904	0,896	0,889	0,883	0,877	0,870	0,878	0,885	0,876	0,870	0,870	0,862	0,860	0,853
6	0,900	0,893	0,883	0,877	0,888	0,869	0,864	0,848	0,854	0,868	0,851	0,857	0,859	0,848	0,855	0,843	0,830	0,840	0,819	0,822
7	0,919	0,915	0,907	0,906	0,905	0,902	0,895	0,757	0,890	0,758	0,887	0,756	0,889	0,888	0,749	0,881	0,732	0,870	0,736	0,733
8	0,869	0,864	0,867	0,859	0,867	0,864	0,858	0,854	0,851	0,843	0,845	0,841	0,832	0,839	0,834	0,831	0,814	0,819	0,816	0,823
9	0,848	0,845	0,834	0,839	0,841	0,832	0,820	0,834	0,813	0,827	0,833	0,824	0,822	0,824	0,824	0,822	0,818	0,819	0,787	0,817
10	0,970	0,967	0,964	0,846	0,959	0,963	0,939	0,955	0,928	0,933	0,953	0,836	0,928	0,810	0,819	0,933	0,945	0,780	0,948	0,944
11	0,952	0,953	0,952	0,951	0,949	0,938	0,938	0,941	0,934	0,938	0,933	0,936	0,935	0,934	0,929	0,923	0,927	0,924	0,928	0,927
12	0,865	0,847	0,839	0,836	0,832	0,819	0,816	0,815	0,805	0,801	0,803	0,798	0,799	0,798	0,789	0,790	0,787	0,789	0,784	0,778
13	0,901	0,891	0,876	0,881	0,801	0,769	0,790	0,788	0,776	0,783	0,760	0,772	0,847	0,830	0,845	0,768	0,757	0,772	0,763	0,742
14	0,944	0,946	0,942	0,933	0,937	0,934	0,925	0,915	0,927	0,924	0,909	0,896	0,897	0,916	0,907	0,890	0,907	0,884	0,888	0,885
15	0,935	0,932	0,924	0,934	0,928	0,923	0,913	0,925	0,920	0,920	0,907	0,916	0,915	0,901	0,919	0,890	0,904	0,898	0,883	0,906
16	0,965	0,964	0,958	0,963	0,964	0,960	0,962	0,955	0,958	0,959	0,961	0,952	0,954	0,957	0,855	0,927	0,954	0,955	0,919	0,949
17	0,903	0,900	0,897	0,889	0,886	0,884	0,883	0,804	0,872	0,869	0,870	0,861	0,860	0,863	0,863	0,774	0,859	0,855	0,757	0,851
18	0,873	0,858	0,853	0,856	0,848	0,845	0,846	0,835	0,835	0,832	0,820	0,827	0,824	0,819	0,814	0,812	0,812	0,796	0,811	0,801
19	0,941	0,927	0,923	0,912	0,914	0,917	0,901	0,906	0,901	0,884	0,886	0,904	0,889	0,875	0,884	0,879	0,866	0,865	0,865	0,857
20	0,933	0,925	0,926	0,915	0,912	0,914	0,915	0,913	0,909	0,902	0,909	0,901	0,831	0,902	0,886	0,871	0,865	0,867	0,820	0,866
21	0,938	0,930	0,919	0,919	0,914	0,911	0,911	0,890	0,901	0,902	0,881	0,881	0,879	0,863	0,874	0,867	0,855	0,854	0,852	0,853
22	0,949	0,947	0,944	0,942	0,937	0,933	0,940	0,934	0,932	0,932	0,933	0,937	0,936	0,928	0,935	0,919	0,890	0,925	0,928	0,918
23	0,853	0,832	0,839	0,840	0,832	0,820	0,820	0,807	0,804	0,806	0,794	0,792	0,795	0,790	0,784	0,775	0,773	0,780	0,774	0,766
24	0,938	0,938	0,937	0,831	0,915	0,909	0,916	0,913	0,903	0,913	0,908	0,905	0,906	0,896	0,899	0,894	0,890	0,893	0,896	0,890
25	0,871	0,752	0,733	0,731	0,722	0,834	0,713	0,714	0,817	0,714	0,713	0,821	0,815	0,808	0,683	0,695	0,682	0,696	0,813	0,690

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

26	0,888	0,870	0,876	0,881	0,860	0,861	0,866	0,856	0,855	0,849	0,842	0,849	0,845	0,838	0,824	0,838	0,842	0,838	0,819	0,804
27	0,912	0,905	0,828	0,889	0,884	0,904	0,885	0,877	0,892	0,874	0,881	0,871	0,842	0,865	0,882	0,854	0,834	0,855	0,853	0,842
28	0,935	0,917	0,917	0,917	0,910	0,911	0,902	0,903	0,897	0,893	0,901	0,893	0,884	0,886	0,880	0,884	0,882	0,883	0,878	0,872
29	0,919	0,911	0,917	0,909	0,908	0,904	0,898	0,895	0,891	0,892	0,884	0,892	0,889	0,883	0,884	0,882	0,884	0,877	0,879	0,877
30	0,889	0,871	0,863	0,877	0,864	0,857	0,843	0,853	0,838	0,841	0,832	0,825	0,815	0,816	0,818	0,816	0,818	0,817	0,807	0,806
31	0,901	0,887	0,888	0,870	0,872	0,872	0,849	0,862	0,849	0,858	0,853	0,843	0,847	0,843	0,845	0,838	0,833	0,818	0,824	0,823
32	0,891	0,885	0,868	0,881	0,861	0,873	0,861	0,843	0,849	0,849	0,836	0,789	0,835	0,837	0,832	0,826	0,838	0,822	0,826	0,760
33	0,917	0,902	0,868	0,904	0,876	0,889	0,867	0,867	0,788	0,781	0,821	0,860	0,819	0,770	0,761	0,810	0,824	0,806	0,818	0,800
34	0,894	0,887	0,868	0,858	0,880	0,873	0,857	0,864	0,841	0,849	0,847	0,844	0,843	0,844	0,838	0,825	0,828	0,825	0,831	0,815
35	0,871	0,881	0,871	0,864	0,856	0,856	0,859	0,846	0,855	0,853	0,850	0,842	0,835	0,829	0,824	0,836	0,829	0,822	0,824	0,818
36	0,884	0,876	0,877	0,869	0,862	0,860	0,862	0,854	0,851	0,849	0,847	0,839	0,838	0,836	0,832	0,829	0,827	0,816	0,817	0,817
37	0,900	0,893	0,885	0,883	0,877	0,878	0,871	0,873	0,861	0,847	0,844	0,839	0,843	0,833	0,836	0,839	0,831	0,827	0,819	0,823
38	0,913	0,904	0,901	0,891	0,887	0,888	0,885	0,881	0,879	0,875	0,874	0,869	0,866	0,869	0,862	0,860	0,852	0,854	0,854	0,851
39	0,934	0,926	0,918	0,920	0,896	0,898	0,900	0,802	0,887	0,883	0,882	0,893	0,877	0,881	0,863	0,875	0,872	0,862	0,864	0,859
40	0,920	0,914	0,903	0,896	0,906	0,894	0,891	0,883	0,886	0,879	0,879	0,869	0,862	0,865	0,866	0,861	0,861	0,857	0,858	0,856
41	0,935	0,868	0,913	0,911	0,913	0,913	0,895	0,911	0,897	0,908	0,905	0,893	0,888	0,891	0,892	0,880	0,881	0,896	0,874	0,898
42	0,955	0,955	0,955	0,944	0,944	0,948	0,941	0,939	0,945	0,939	0,939	0,943	0,918	0,927	0,924	0,921	0,922	0,924	0,898	0,918
43	0,946	0,936	0,927	0,924	0,922	0,917	0,911	0,925	0,900	0,904	0,905	0,895	0,892	0,885	0,902	0,897	0,883	0,883	0,861	0,876
44	0,915	0,902	0,905	0,907	0,906	0,899	0,894	0,887	0,883	0,880	0,884	0,887	0,879	0,873	0,874	0,874	0,872	0,871	0,867	0,861
45	0,901	0,891	0,892	0,892	0,883	0,884	0,871	0,871	0,866	0,866	0,859	0,864	0,853	0,853	0,850	0,855	0,850	0,840	0,837	0,843
46	0,886	0,873	0,878	0,862	0,861	0,857	0,840	0,838	0,832	0,840	0,832	0,835	0,835	0,827	0,807	0,818	0,813	0,802	0,816	0,817
47	0,945	0,933	0,927	0,923	0,928	0,919	0,916	0,913	0,915	0,908	0,899	0,890	0,896	0,885	0,873	0,879	0,878	0,871	0,854	0,869
48	0,915	0,896	0,888	0,891	0,878	0,883	0,891	0,892	0,890	0,873	0,866	0,863	0,863	0,874	0,867	0,862	0,849	0,849	0,845	0,850
49	0,965	0,967	0,862	0,927	0,928	0,923	0,927	0,927	0,931	0,927	0,926	0,921	0,923	0,927	0,919	0,921	0,921	0,927	0,918	0,912
50	0,974	0,976	0,858	0,945	0,934	0,938	0,942	0,943	0,937	0,930	0,933	0,942	0,931	0,928	0,929	0,935	0,937	0,932	0,932	0,935
51	0,948	0,961	0,852	0,913	0,907	0,911	0,911	0,901	0,907	0,908	0,910	0,902	0,905	0,905	0,906	0,905	0,907	0,905	0,906	0,907
52	0,813	0,841	0,670	0,740	0,738	0,750	0,741	0,739	0,741	0,740	0,737	0,737	0,738	0,751	0,750	0,740	0,742	0,741	0,733	0,744

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

53	0,856	0,848	0,667	0,710	0,713	0,723	0,711	0,719	0,717	0,709	0,713	0,722	0,718	0,719	0,715	0,717	0,713	0,710	0,705	0,714
54	0,948	0,942	0,789	0,801	0,803	0,801	0,800	0,807	0,801	0,797	0,803	0,803	0,811	0,806	0,804	0,802	0,806	0,807	0,804	0,806
55	0,948	0,942	0,871	0,811	0,811	0,803	0,810	0,808	0,810	0,810	0,809	0,815	0,810	0,820	0,801	0,811	0,815	0,810	0,809	0,807
56	0,892	0,875	0,754	0,700	0,718	0,723	0,724	0,727	0,722	0,732	0,723	0,724	0,727	0,731	0,724	0,727	0,729	0,724	0,720	0,722
57	0,868	0,857	0,698	0,572	0,625	0,630	0,630	0,632	0,600	0,610	0,617	0,610	0,565	0,622	0,566	0,568	0,563	0,610	0,555	0,612
58	0,853	0,839	0,727	0,697	0,703	0,708	0,696	0,697	0,703	0,694	0,702	0,698	0,707	0,698	0,681	0,692	0,694	0,696	0,696	0,687
59	0,885	0,872	0,746	0,749	0,743	0,747	0,747	0,753	0,742	0,745	0,743	0,744	0,749	0,746	0,746	0,744	0,742	0,739	0,739	0,739
60	0,992	0,991	0,895	0,913	0,913	0,913	0,913	0,918	0,914	0,916	0,919	0,911	0,912	0,907	0,914	0,914	0,915	0,912	0,919	0,914
61	0,992	0,991	0,905	0,908	0,908	0,913	0,907	0,912	0,908	0,911	0,912	0,903	0,910	0,903	0,910	0,903	0,908	0,912	0,904	0,909
62	0,976	0,973	0,918	0,896	0,903	0,900	0,896	0,893	0,900	0,895	0,894	0,898	0,895	0,898	0,895	0,897	0,896	0,894	0,897	0,895
63	0,949	0,947	0,864	0,843	0,836	0,839	0,837	0,834	0,837	0,838	0,841	0,836	0,839	0,836	0,839	0,838	0,836	0,840	0,840	0,830
64	0,942	0,940	0,805	0,846	0,846	0,849	0,848	0,848	0,848	0,847	0,849	0,842	0,850	0,845	0,850	0,843	0,848	0,836	0,847	0,843
65	0,946	0,942	0,802	0,871	0,870	0,865	0,868	0,869	0,876	0,868	0,867	0,868	0,869	0,866	0,862	0,863	0,868	0,871	0,874	0,868
66	0,948	0,948	0,851	0,849	0,839	0,845	0,848	0,845	0,848	0,844	0,846	0,841	0,840	0,842	0,829	0,833	0,841	0,838	0,837	0,841
67	0,936	0,939	0,793	0,800	0,804	0,801	0,804	0,802	0,799	0,807	0,800	0,806	0,797	0,800	0,802	0,803	0,802	0,803	0,798	0,799
68	0,895	0,888	0,819	0,761	0,762	0,765	0,762	0,762	0,759	0,762	0,762	0,762	0,760	0,760	0,759	0,765	0,764	0,763	0,756	0,761
69	0,925	0,920	0,751	0,780	0,781	0,781	0,781	0,781	0,781	0,772	0,781	0,772	0,776	0,780	0,781	0,780	0,774	0,778	0,775	0,771
70	0,968	0,967	0,821	0,928	0,929	0,931	0,929	0,930	0,930	0,928	0,930	0,929	0,929	0,934	0,929	0,930	0,928	0,930	0,926	0,928
71	0,959	0,954	0,852	0,720	0,727	0,726	0,804	0,799	0,714	0,720	0,720	0,718	0,716	0,799	0,809	0,711	0,717	0,715	0,796	0,719
72	0,956	0,948	0,852	0,719	0,727	0,719	0,795	0,718	0,788	0,795	0,727	0,716	0,724	0,792	0,730	0,790	0,724	0,735	0,728	0,790
73	0,966	0,962	0,874	0,851	0,855	0,857	0,859	0,850	0,862	0,857	0,857	0,856	0,861	0,870	0,859	0,852	0,858	0,864	0,859	0,863
74	0,953	0,953	0,825	0,841	0,852	0,851	0,855	0,851	0,858	0,849	0,842	0,846	0,857	0,848	0,851	0,854	0,856	0,855	0,859	0,858
75	0,956	0,955	0,814	0,862	0,871	0,868	0,866	0,865	0,861	0,860	0,867	0,863	0,868	0,866	0,873	0,868	0,867	0,873	0,866	0,864
76	0,972	0,967	0,825	0,839	0,836	0,838	0,842	0,848	0,835	0,846	0,849	0,842	0,838	0,840	0,849	0,832	0,852	0,851	0,848	0,846
77	0,962	0,951	0,884	0,848	0,843	0,849	0,853	0,847	0,852	0,853	0,844	0,845	0,857	0,853	0,845	0,849	0,865	0,854	0,851	0,848
78	0,945	0,945	0,799	0,798	0,796	0,791	0,801	0,792	0,792	0,795	0,798	0,794	0,805	0,801	0,794	0,796	0,792	0,798	0,804	0,795
79	0,945	0,942	0,826	0,799	0,797	0,791	0,793	0,797	0,793	0,796	0,795	0,799	0,789	0,801	0,796	0,803	0,799	0,800	0,791	0,801

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

80	0,948	0,945	0,785	0,827	0,818	0,831	0,826	0,830	0,834	0,816	0,831	0,839	0,827	0,837	0,838	0,825	0,822	0,824	0,841	0,835
81	0,987	0,985	0,903	0,890	0,889	0,893	0,900	0,888	0,881	0,898	0,896	0,889	0,899	0,883	0,903	0,881	0,879	0,875	0,891	0,876
82	0,879	0,862	0,740	0,732	0,747	0,740	0,741	0,746	0,742	0,742	0,740	0,744	0,753	0,742	0,735	0,742	0,734	0,741	0,745	0,749
83	0,880	0,875	0,750	0,748	0,746	0,748	0,740	0,743	0,747	0,738	0,747	0,747	0,744	0,741	0,752	0,757	0,749	0,738	0,741	0,745
84	0,949	0,954	0,900	0,906	0,894	0,884	0,887	0,888	0,893	0,879	0,894	0,903	0,886	0,896	0,885	0,886	0,865	0,877	0,892	0,879
85	0,949	0,949	0,890	0,908	0,900	0,902	0,912	0,904	0,908	0,911	0,911	0,910	0,906	0,905	0,902	0,904	0,889	0,901	0,900	0,908
86	0,962	0,963	0,889	0,904	0,904	0,905	0,905	0,904	0,905	0,905	0,906	0,908	0,902	0,905	0,906	0,902	0,900	0,904	0,907	0,906
87	0,931	0,927	0,840	0,840	0,837	0,838	0,839	0,838	0,840	0,837	0,834	0,841	0,838	0,844	0,839	0,846	0,838	0,840	0,840	0,845
88	0,935	0,925	0,836	0,846	0,839	0,847	0,847	0,843	0,848	0,844	0,844	0,844	0,842	0,839	0,840	0,840	0,848	0,842	0,842	0,838
89	0,923	0,912	0,840	0,837	0,841	0,840	0,839	0,841	0,838	0,836	0,838	0,838	0,841	0,840	0,844	0,841	0,841	0,843	0,842	0,837
90	0,923	0,923	0,833	0,821	0,829	0,826	0,827	0,829	0,833	0,835	0,841	0,835	0,838	0,834	0,836	0,839	0,836	0,841	0,834	0,834
91	0,938	0,941	0,875	0,874	0,875	0,878	0,872	0,872	0,873	0,873	0,875	0,880	0,873	0,877	0,872	0,871	0,872	0,876	0,879	0,870
92	0,934	0,930	0,829	0,838	0,833	0,835	0,838	0,827	0,830	0,836	0,828	0,831	0,844	0,831	0,836	0,839	0,821	0,826	0,848	0,846
93	0,935	0,943	0,777	0,792	0,735	0,723	0,722	0,733	0,734	0,775	0,707	0,758	0,787	0,772	0,717	0,782	0,790	0,776	0,769	0,758
94	0,948	0,940	0,718	0,796	0,791	0,799	0,714	0,789	0,755	0,785	0,762	0,794	0,750	0,789	0,797	0,795	0,776	0,800	0,703	0,787
95	0,988	0,979	0,884	0,883	0,885	0,884	0,884	0,891	0,887	0,883	0,885	0,884	0,881	0,882	0,882	0,884	0,884	0,885	0,884	0,887
96	0,987	0,983	0,885	0,883	0,885	0,877	0,884	0,882	0,881	0,888	0,883	0,883	0,882	0,884	0,883	0,885	0,883	0,884	0,883	0,880
97	0,978	0,936	0,761	0,771	0,760	0,770	0,771	0,771	0,776	0,771	0,770	0,766	0,766	0,778	0,769	0,762	0,768	0,772	0,771	0,777
98	0,966	0,913	0,751	0,746	0,768	0,747	0,747	0,760	0,760	0,749	0,747	0,755	0,750	0,749	0,749	0,752	0,744	0,752	0,754	0,763
99	0,972	0,907	0,738	0,751	0,740	0,745	0,735	0,738	0,747	0,745	0,743	0,781	0,764	0,747	0,728	0,758	0,753	0,750	0,746	0,769
100	0,972	0,870	0,780	0,788	0,768	0,766	0,781	0,788	0,749	0,761	0,780	0,753	0,774	0,762	0,762	0,751	0,761	0,791	0,762	0,761
medián	0,935	0,926	0,868	0,871	0,871	0,869	0,863	0,853	0,855	0,851	0,850	0,845	0,847	0,844	0,845	0,843	0,845	0,842	0,840	0,843
průměr	0,927	0,918	0,854	0,854	0,853	0,853	0,850	0,846	0,846	0,844	0,843	0,841	0,842	0,842	0,835	0,836	0,833	0,833	0,830	0,831

Výsledné hodnoty Střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

Příloha G: *Výsledné hodnoty Střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
1	581,154	358,860	265,065	675,308	608,234	567,689	885,155	626,139	862,674	1067,327	983,497	969,201	880,124	1231,156	1289,405	1295,980	1338,864	1496,252	1354,780	1350,911
2	501,739	593,238	582,386	613,124	724,741	692,104	708,559	820,921	743,864	955,653	933,652	874,583	1030,894	1049,719	902,397	1027,851	985,015	1102,327	1569,851	1236,965
3	394,033	645,056	577,063	601,751	777,951	783,855	677,074	975,836	768,374	934,952	1258,173	1214,958	1173,648	1487,255	1191,330	1294,115	1497,018	1468,234	1647,107	1519,492
4	415,257	534,644	950,058	863,635	726,772	735,429	761,814	969,479	864,069	1237,828	1105,564	1161,431	1262,661	1231,129	1384,461	1271,496	1387,013	1591,758	1536,472	1552,531
5	310,822	431,233	525,662	491,337	595,592	650,852	708,466	852,150	898,406	1098,844	1043,450	1235,099	1301,237	1207,923	1306,100	1489,058	1533,118	1661,597	1605,155	1746,345
6	632,925	726,912	838,836	887,227	798,369	1031,479	1035,646	1290,917	1144,549	1051,677	1224,795	1220,101	1083,639	1297,529	1154,070	1333,073	1545,381	1402,045	1717,904	1615,989
7	407,841	402,058	489,837	524,994	519,758	554,423	627,227	3467,031	732,352	3466,295	709,003	3521,800	711,662	696,683	3659,709	919,708	3814,768	972,571	3842,226	3830,935
8	1185,102	1340,241	1199,000	1434,868	912,464	1214,299	1482,354	1116,644	1457,638	1253,358	1519,993	1676,543	1353,372	1622,554	1673,313	1780,610	1732,393	1683,763	1705,067	1916,375
9	1274,985	1217,380	1288,920	985,165	1246,709	1355,442	1098,553	1388,963	1209,100	1363,782	1408,570	1401,179	1485,630	1513,659	1479,884	1437,289	1608,371	1523,211	1566,883	1635,989
10	145,872	182,679	207,194	1168,564	342,017	268,581	491,836	361,136	708,033	705,088	408,411	1033,587	723,499	1610,979	1519,784	658,189	493,464	1881,700	496,974	601,363
11	250,202	219,534	292,649	255,711	307,416	393,898	369,712	391,733	403,238	456,200	491,666	445,486	417,633	460,298	502,707	590,723	549,612	618,662	581,303	585,414
12	503,781	657,307	654,093	724,818	709,602	840,478	898,303	1109,997	1029,370	1050,927	1099,247	1086,876	1159,060	1253,458	1173,153	1224,936	1237,139	1280,031	1257,270	1387,986
13	586,412	535,937	693,025	622,157	2267,903	3020,350	2454,007	2449,486	2554,774	2445,325	2616,583	2679,102	1225,891	1327,003	1244,936	2697,938	2819,415	2665,201	2871,318	2864,693
14	216,103	209,608	223,244	354,701	263,587	263,108	434,828	449,651	382,060	432,142	490,132	589,616	579,909	490,037	596,320	805,999	692,315	896,648	792,972	893,918
15	284,602	372,792	427,263	326,583	347,500	453,175	437,122	440,384	429,757	556,271	601,985	560,097	534,066	759,469	495,606	863,085	704,685	740,212	862,451	666,732
16	268,463	155,119	260,461	148,456	157,240	204,916	189,820	317,350	221,321	207,193	233,391	316,335	291,978	270,761	1389,506	620,591	344,254	280,251	702,126	370,022
17	510,062	464,565	458,848	490,357	550,085	566,405	604,891	1219,224	695,135	689,355	741,792	1074,833	896,844	842,497	823,352	1498,925	959,481	983,613	3439,587	1054,375
18	628,469	796,815	800,512	736,647	802,244	890,479	835,624	1019,108	914,960	1037,350	1285,141	1149,388	1130,935	1189,286	1306,749	1253,338	1388,807	1524,396	1269,840	1515,626
19	264,150	468,404	483,737	616,875	518,897	493,713	666,585	631,804	701,577	949,618	893,097	707,191	876,885	1027,146	1041,053	1068,016	1166,285	1177,932	1286,987	1365,882
20	202,775	227,300	220,064	265,906	289,850	294,021	281,616	322,924	334,701	384,355	361,189	392,206	1138,525	409,022	610,805	873,730	1003,369	898,496	1318,790	947,494
21	210,955	255,098	517,233	451,917	598,975	666,242	581,273	925,497	809,171	748,328	834,864	1008,530	974,359	1140,288	1073,380	1205,098	1252,803	1395,827	1509,261	1347,966
22	248,994	272,016	285,114	426,682	366,476	484,124	341,078	506,597	521,583	438,471	444,074	378,579	382,213	534,990	394,400	636,781	1012,245	622,957	569,446	675,078
23	482,125	939,917	643,482	644,848	676,690	824,962	826,547	895,076	931,608	938,971	1063,194	1115,278	1175,671	1145,657	1691,789	1282,447	1261,140	1702,857	1381,660	1378,143
24	310,919	293,992	306,877	917,626	541,513	617,739	464,771	572,599	752,550	553,375	597,239	654,760	627,444	771,253	821,122	823,696	912,392	879,906	810,097	871,177
25	721,328	2765,084	3373,954	3299,314	3428,694	1149,249	3544,714	3542,016	1717,877	3015,509	3551,285	1660,235	1330,370	1409,298	3793,153	3724,082	3958,149	3734,412	1393,001	3746,526

Výsledné hodnoty Střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

26	611,782	849,289	780,524	658,421	971,830	883,872	845,656	1017,421	1120,789	1109,595	1315,342	1175,619	1202,928	1291,958	1539,959	1263,485	1274,653	1296,111	1550,563	1971,922
27	694,141	716,490	1637,041	873,225	963,422	660,875	932,825	961,273	848,247	1010,037	1000,876	1054,403	1508,893	1215,413	945,472	1324,581	1675,048	1339,725	1446,005	1515,648
28	189,402	378,325	377,567	411,318	425,790	411,842	556,376	445,485	577,191	552,921	501,865	657,197	603,846	653,493	763,891	792,136	687,201	715,619	830,228	927,490
29	374,287	441,784	364,223	488,672	498,347	535,970	561,296	622,413	644,502	712,396	753,309	718,297	780,976	831,910	765,941	893,444	885,494	1006,826	943,220	998,393
30	532,828	942,904	993,503	530,901	760,155	1064,813	856,080	1105,114	1001,529	1244,921	1042,084	1152,892	1285,861	1291,838	1231,479	1411,486	1611,453	1326,901	1397,108	1570,141
31	463,575	516,412	584,305	752,801	839,298	712,335	1172,459	794,502	959,990	821,140	912,449	1181,154	1046,481	1073,613	1081,450	1108,654	1319,793	1483,250	1379,117	1341,282
32	583,800	717,752	939,135	630,502	850,927	774,081	864,643	1127,648	1029,424	1068,171	1266,517	1645,761	1277,234	1346,074	1191,716	1438,067	1300,666	1548,747	1467,009	1924,310
33	303,749	566,786	1055,714	431,414	927,367	633,449	1133,879	1187,845	2207,687	2237,085	2029,559	1306,531	2091,047	3188,320	2598,303	2178,449	2032,538	2261,581	2171,193	2608,234
34	616,847	532,375	1049,684	1195,896	587,984	756,244	772,674	754,238	983,473	893,637	921,506	961,993	1105,476	912,924	1016,574	1216,986	1164,363	1276,236	1255,335	1390,830
35	986,964	455,127	636,770	646,516	753,704	745,998	753,624	1188,950	717,794	751,143	794,990	882,752	987,225	1096,204	1517,385	1011,028	1094,215	1224,547	1157,763	1323,773
36	492,569	710,845	560,693	658,008	637,763	695,829	686,799	708,592	773,479	841,902	849,087	980,438	1003,378	1074,780	1193,187	1205,915	1289,824	1385,586	1376,282	1464,224
37	400,917	429,113	524,350	528,655	569,833	592,250	632,833	682,716	744,779	992,645	944,437	1048,470	984,261	1203,915	1085,339	1101,314	1225,541	1190,837	1462,123	1310,636
38	386,638	478,661	464,045	564,403	621,872	632,904	662,490	792,559	793,146	822,117	838,347	918,967	1002,874	917,857	993,850	1057,752	1246,424	1212,545	1210,146	1223,423
39	303,496	300,866	443,026	362,980	671,943	671,593	625,014	1918,819	745,005	791,270	864,139	696,078	993,124	863,933	1185,788	997,035	999,094	1128,814	1117,030	1240,532
40	361,130	389,256	517,510	571,992	488,283	638,228	672,036	820,124	737,087	794,687	827,151	866,680	995,084	1035,389	1049,584	1094,478	1130,390	1172,341	1189,981	1292,378
41	351,027	1174,459	552,384	591,744	555,974	587,572	746,364	598,451	747,747	650,837	715,595	811,959	857,104	824,489	811,493	986,320	988,466	774,803	1066,420	789,328
42	256,177	173,924	188,084	338,066	341,339	279,595	267,390	386,161	232,386	365,353	315,774	267,518	613,184	470,284	552,646	623,305	566,246	617,901	868,152	604,850
43	180,375	273,279	338,068	380,001	447,258	382,260	543,016	411,072	710,568	681,050	680,466	764,572	777,713	835,365	673,184	726,670	957,800	966,868	1197,035	1062,661
44	421,659	627,633	503,967	469,640	466,103	522,201	550,259	648,234	684,499	768,026	680,685	677,442	811,400	799,589	837,779	842,346	844,775	899,678	951,675	987,677
45	410,133	478,628	531,796	533,011	635,999	574,792	712,237	713,393	812,216	826,971	864,381	951,393	956,227	995,269	1070,847	1036,435	1070,149	1279,542	1332,290	1148,295
46	507,226	598,298	625,426	815,649	828,392	878,122	1244,686	1279,790	1180,989	1298,988	1118,185	1203,046	1265,888	1276,227	1665,957	1450,296	1637,192	1743,119	1566,671	1593,524
47	329,611	458,054	544,473	507,116	527,361	554,467	615,101	683,010	720,368	768,889	854,678	874,592	979,657	1180,712	1239,997	1204,547	1215,342	1353,751	1548,765	1383,151
48	751,997	966,437	1079,904	1038,610	1147,556	1162,444	1065,358	1022,552	1063,755	1375,437	1340,107	1388,270	1499,651	1343,261	1471,477	1521,014	1708,148	1663,800	1716,063	1606,043
49	235,480	133,966	2913,908	1515,170	1509,645	1580,080	1522,814	1516,982	1481,921	1535,404	1547,672	1579,765	1570,801	1533,620	1630,815	1581,563	1587,436	1522,501	1620,787	1678,536
50	155,824	133,861	3187,461	947,368	1073,761	1040,964	997,836	985,056	1052,771	1130,001	1073,651	1016,433	1133,462	1142,639	1152,297	1074,068	1037,833	1105,398	1129,911	1087,902
51	534,957	250,833	2995,280	1435,381	1513,753	1447,487	1468,230	1598,498	1527,351	1519,862	1478,981	1565,426	1573,904	1574,732	1579,954	1577,285	1552,278	1590,872	1556,048	1542,307
52	1952,126	861,861	6741,922	4465,323	4487,695	4123,096	4404,382	4435,887	4356,767	4470,257	4408,609	4448,602	4472,246	4043,081	4177,334	4399,637	4342,404	4412,998	4562,536	4364,569

Výsledné hodnoty Střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

53	1325,787	1471,095	6158,782	5856,276	5714,993	5602,412	5777,889	5658,010	5717,186	5751,548	5749,426	5635,441	5673,648	5659,213	5707,762	5640,888	5752,283	5753,603	5841,787	5682,598
54	179,372	228,141	4821,244	4568,555	4510,302	4537,807	4604,989	4516,396	4524,351	4552,310	4553,496	4543,582	4390,056	4462,932	4552,245	4613,595	4553,945	4515,636	4499,806	4452,370
55	193,632	215,762	2933,349	4434,087	4454,580	4511,330	4458,856	4468,301	4432,412	4482,364	4494,617	4381,185	4466,173	4136,955	4728,928	4435,626	4410,636	4539,223	4485,236	4597,635
56	503,188	817,644	5462,293	6493,482	6768,637	6589,908	6652,894	6567,980	6637,658	6471,441	6604,736	6590,047	6543,254	6495,222	6586,207	6575,013	6553,199	6653,194	6675,923	6694,268
57	784,457	774,851	7316,566	9676,242	9388,009	9186,290	9298,051	9175,790	9845,075	9678,605	9612,728	9619,951	9718,187	9373,206	9742,539	9654,092	9683,358	9717,959	9890,588	9660,222
58	1512,358	1994,305	6507,398	7352,995	7223,971	7203,315	7383,153	7367,029	7257,678	7477,158	7318,319	7289,483	7168,982	7330,884	7568,728	7403,920	7391,595	7394,525	7351,839	7530,119
59	686,317	750,037	5591,454	5491,570	5566,409	5527,327	5516,233	5413,024	5553,650	5503,945	5572,008	5545,425	5497,237	5536,392	5566,351	5553,791	5575,759	5640,471	5691,363	5687,628
60	28,618	35,892	2175,244	1999,456	1989,611	1997,317	1994,436	1956,156	1996,159	1960,558	1894,827	2012,238	2005,440	2090,144	2040,464	1935,542	1965,146	2030,756	1969,453	2006,271
61	18,820	22,839	2027,915	2070,390	2123,849	2093,060	2154,369	2062,475	2118,739	2064,444	2088,532	2208,865	2129,011	2187,029	2087,001	2178,824	2129,748	2032,707	2167,614	2108,857
62	136,995	207,150	1480,598	1999,610	1874,805	1986,656	2042,249	2044,023	1972,741	1999,611	2052,056	1956,515	2011,003	2009,661	1986,892	1981,414	2021,534	2057,656	1977,657	1995,326
63	241,422	280,824	2724,319	3261,262	3444,003	3378,527	3423,685	3462,200	3386,847	3395,843	3324,846	3406,924	3356,462	3372,598	3370,235	3380,624	3428,328	3307,889	3335,095	3490,790
64	254,228	257,654	4328,573	3883,148	3901,333	3847,948	3865,319	3889,011	3867,575	3844,626	3836,241	3944,988	3818,683	3841,089	3814,025	3926,644	3856,315	4022,389	3811,536	3890,740
65	190,306	215,894	4470,709	2876,143	2932,684	2954,618	2921,191	2936,720	2830,392	2952,650	2992,726	2985,599	2954,106	3013,509	3114,661	3011,133	2933,216	2994,674	2946,543	3063,910
66	192,736	193,327	3336,951	3371,553	3513,391	3436,674	3382,409	3413,740	3359,920	3431,941	3415,205	3530,903	3474,796	3487,833	3678,745	3572,319	3518,609	3484,928	3573,823	3525,553
67	432,318	234,979	4858,121	4757,061	4729,906	4747,372	4706,715	4688,371	4762,520	4665,041	4753,381	4647,514	4810,736	4784,360	4718,311	4704,750	4789,777	4719,559	4769,008	4762,889
68	892,414	1006,269	4158,872	5810,683	5869,870	5806,895	5833,125	5856,261	5885,681	5824,757	5838,082	5829,102	5854,148	5851,414	5859,596	5792,789	5809,938	5793,626	5879,501	5800,993
69	468,969	511,586	6165,858	5110,596	5071,871	5104,926	5057,841	5103,781	5107,258	5263,466	5067,070	5214,809	5158,021	5114,252	5124,033	5082,031	5117,104	5106,095	5163,381	5250,862
70	171,697	248,585	4177,661	1283,603	1276,650	1257,343	1278,825	1262,373	1242,850	1286,204	1244,194	1265,649	1269,603	1216,210	1254,762	1258,892	1268,997	1270,753	1259,584	1279,184
71	174,377	208,463	3205,899	5879,763	5896,249	5852,720	4907,505	4970,408	5935,868	5820,513	5911,502	5923,248	5968,913	4970,056	4803,883	5958,133	5860,526	5809,600	5023,932	5841,367
72	186,893	279,228	3275,093	5727,667	5669,512	5764,958	4935,880	5791,087	5000,743	4925,096	5701,473	5769,601	5425,117	4939,386	5372,012	5026,194	5463,145	5162,348	5460,021	5119,820
73	128,722	150,947	2621,843	3027,109	2967,533	2966,925	2945,095	3038,886	2859,401	2964,782	2950,723	2906,339	2899,894	2783,079	2921,113	2966,010	2911,073	2759,500	2874,188	2836,455
74	218,581	185,659	4009,545	3383,847	3249,676	3195,337	3172,174	3246,527	3116,794	3248,813	3349,084	3310,307	3095,637	3216,844	3232,733	3239,401	3124,959	3087,938	3104,997	3106,910
75	199,612	191,421	4200,136	3013,396	2863,934	2905,042	2963,811	3007,769	3066,381	3028,092	2955,900	2972,925	2901,595	2876,478	2792,811	2873,619	2847,810	2818,028	2960,699	2903,676
76	149,125	188,702	3714,600	3358,064	3329,625	3353,871	3281,524	3226,438	3460,904	3197,680	3223,292	3316,462	3407,846	3300,250	3153,163	3455,736	3174,698	3183,155	3293,697	3204,893
77	182,783	243,831	2330,356	3378,358	3384,860	3338,463	3213,777	3450,618	3285,032	3238,219	3403,294	3342,366	3129,341	3265,204	3372,565	3337,977	3140,907	3197,635	3363,098	3314,676
78	249,660	205,510	4459,662	4695,868	4714,557	4761,246	4644,653	4686,228	4781,439	4730,318	4646,677	4769,586	4581,517	4717,429	4752,393	4665,724	4819,754	4649,593	4593,607	4724,275
79	197,485	212,323	3787,404	4574,852	4663,659	4624,216	4667,663	4554,808	4611,246	4623,720	4631,958	4519,254	4694,153	4530,685	4636,253	4460,863	4597,473	4575,161	4707,133	4564,691

Výsledné hodnoty Střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Speckle šumem.

80	188,045	207,821	4499,056	3827,006	3975,681	3892,359	3916,080	3821,618	3838,204	4054,287	3821,098	3717,302	3928,529	3693,546	3754,969	3921,889	3953,132	3922,635	3682,484	3817,740
81	46,739	56,539	1849,118	2310,090	2264,625	2217,125	2184,535	2319,187	2374,709	2147,585	2176,277	2290,126	2111,693	2400,739	2044,483	2419,555	2371,190	2382,624	2185,858	2459,399
82	536,158	686,020	5277,396	5509,005	5263,468	5387,948	5406,881	5298,644	5404,077	5348,808	5415,726	5360,270	5141,304	5380,122	5422,775	5413,893	5547,050	5480,129	5388,202	5267,028
83	519,342	519,267	4601,132	5305,518	5275,336	5291,949	5330,009	5342,373	5288,551	5405,435	5260,286	5338,120	5352,202	5305,884	5267,841	5208,728	5227,981	5420,823	5423,418	5354,727
84	229,234	153,858	2015,448	1937,443	2041,694	2164,704	2089,979	2122,997	2075,179	2228,154	2045,550	1939,410	2135,517	2040,702	2166,104	2142,459	1990,145	2258,256	2082,857	2245,705
85	292,549	267,852	2330,748	1856,337	1885,044	1877,365	1759,569	1880,932	1811,183	1810,522	1785,780	1813,722	1863,494	1883,032	1901,035	1860,542	2008,551	1930,689	1925,644	1812,785
86	164,124	146,493	2406,214	2123,079	2126,426	2091,072	2095,343	2117,634	2101,247	2108,382	2118,661	2059,641	2159,917	2080,042	2079,563	2132,929	2174,290	2098,106	2075,362	2098,548
87	325,164	347,849	3375,775	3769,909	3812,004	3783,860	3799,170	3789,601	3766,404	3794,809	3856,356	3731,637	3794,751	3727,549	3764,106	3620,159	3796,261	3783,381	3724,600	3664,076
88	263,638	388,070	3665,382	3459,600	3534,926	3415,689	3411,299	3484,774	3375,370	3465,864	3476,720	3500,868	3529,129	3539,589	3520,863	3532,579	3379,015	3506,732	3507,716	3552,297
89	321,260	405,060	3325,281	3391,478	3377,234	3397,777	3378,809	3364,753	3371,030	3449,655	3419,332	3398,240	3389,095	3373,654	3354,547	3378,535	3352,603	3311,540	3338,650	3415,731
90	307,644	318,205	3640,270	3834,221	3711,159	3724,963	3668,719	3683,501	3610,089	3568,635	3510,634	3581,381	3508,956	3629,285	3531,466	3480,872	3577,021	3467,693	3603,695	3600,756
91	364,282	302,601	2500,922	2506,268	2494,934	2456,874	2534,103	2533,740	2543,701	2531,781	2554,321	2433,106	2551,521	2478,728	2573,414	2575,813	2579,478	2514,137	2465,228	2602,715
92	390,011	428,670	3074,012	3066,029	3007,043	3026,370	2995,055	3188,597	3002,507	3028,624	3120,764	3048,071	2857,030	3129,394	3027,804	2915,359	3293,807	3198,069	2862,818	2852,527
93	504,132	405,582	5253,273	4825,089	5162,134	5258,547	5258,174	5094,248	5205,800	5157,051	5538,848	5467,145	4885,824	5085,373	5317,615	4899,759	5008,885	5094,707	5265,025	5508,882
94	219,915	306,179	5299,080	4706,122	4707,374	4626,004	5510,100	4759,629	5363,263	5015,397	5380,090	4764,994	5427,139	4763,509	4607,934	4620,713	5016,462	4569,022	5570,556	4825,716
95	64,476	173,446	2484,273	2493,398	2484,079	2481,388	2504,228	2410,472	2488,511	2517,761	2485,507	2532,971	2570,335	2517,521	2521,663	2564,792	2538,053	2443,097	2463,990	2485,954
96	80,871	89,964	2585,247	2585,210	2543,410	2690,620	2585,644	2612,076	2609,797	2542,568	2558,881	2586,140	2605,196	2572,464	2527,378	2559,752	2588,549	2553,413	2613,063	2598,382
97	139,249	1322,819	5470,611	5316,890	5488,490	5354,962	5268,568	5253,598	5213,990	5242,950	5320,398	5404,815	5321,763	5212,218	5212,038	5446,597	5291,959	5227,188	5251,560	5116,196
98	198,040	1691,542	6237,348	6355,795	5810,437	6380,012	6317,265	5988,766	5916,005	6134,068	6268,693	6104,775	6189,183	6198,112	6197,329	6140,325	6324,520	6176,852	5941,122	5859,423
99	168,840	1771,194	6474,655	6210,095	6304,792	6169,136	6435,588	6485,184	6319,215	6334,430	6309,936	4886,307	5778,663	6269,608	6543,364	5845,648	5969,846	6124,410	6210,922	5652,159
100	83,330	2702,435	4995,913	4824,691	5260,712	5350,404	4944,735	4895,430	5567,089	5211,749	4984,518	5416,440	5101,128	5259,339	5307,173	5491,171	5242,494	4808,630	5287,051	5313,449
medián	310,870	395,657	2021,681	1475,276	1694,279	1513,783	1641,191	1937,487	1764,530	1980,084	1840,304	1745,133	1572,352	1616,767	1943,964	1898,042	1999,348	1980,722	1973,555	2000,799
průměr	402,357	536,474	2393,569	2384,203	2408,081	2401,320	2437,521	2513,316	2481,066	2545,552	2544,352	2557,370	2537,340	2550,987	2647,241	2636,527	2695,734	2682,365	2736,989	2738,312

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

Příloha H: *Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02
1	0,918	0,856	0,779	0,753	0,732	0,690	0,655	0,638	0,632	0,618	0,607	0,586	0,610	0,583	0,548	0,567	0,546	0,543	0,542	0,520
2	0,828	0,724	0,683	0,605	0,615	0,528	0,593	0,512	0,546	0,488	0,509	0,477	0,465	0,496	0,446	0,451	0,454	0,442	0,463	0,443
3	0,833	0,748	0,671	0,591	0,554	0,549	0,545	0,524	0,525	0,479	0,471	0,498	0,484	0,450	0,459	0,495	0,436	0,422	0,486	0,457
4	0,795	0,685	0,570	0,554	0,489	0,443	0,393	0,380	0,365	0,366	0,471	0,446	0,351	0,310	0,431	0,451	0,410	0,412	0,376	0,370
5	0,767	0,580	0,519	0,452	0,410	0,423	0,293	0,299	0,289	0,423	0,404	0,360	0,419	0,378	0,301	0,428	0,354	0,388	0,373	0,362
6	0,787	0,719	0,693	0,674	0,641	0,622	0,613	0,574	0,558	0,563	0,546	0,541	0,522	0,556	0,534	0,494	0,543	0,510	0,479	0,508
7	0,918	0,490	0,837	0,453	0,438	0,422	0,739	0,462	0,429	0,398	0,391	0,378	0,432	0,383	0,669	0,420	0,350	0,369	0,643	0,712
8	0,704	0,740	0,603	0,608	0,611	0,540	0,544	0,544	0,508	0,522	0,504	0,502	0,516	0,518	0,490	0,502	0,477	0,477	0,489	0,473
9	0,826	0,830	0,812	0,773	0,770	0,771	0,760	0,744	0,749	0,721	0,765	0,718	0,722	0,711	0,699	0,681	0,703	0,675	0,719	0,684
10	0,774	0,649	0,465	0,335	0,509	0,495	0,467	0,519	0,489	0,485	0,438	0,045	0,084	0,483	0,439	0,459	0,312	0,462	0,439	0,455
11	0,793	0,668	0,592	0,535	0,458	0,467	0,393	0,399	0,403	0,418	0,352	0,308	0,325	0,364	0,456	0,280	0,360	0,279	0,139	0,269
12	0,878	0,863	0,827	0,785	0,828	0,819	0,805	0,781	0,800	0,756	0,764	0,748	0,780	0,747	0,744	0,735	0,729	0,722	0,718	0,708
13	0,927	0,882	0,870	0,654	0,639	0,648	0,633	0,786	0,627	0,597	0,769	0,757	0,505	0,744	0,703	0,681	0,578	0,556	0,725	0,580
14	0,937	0,892	0,875	0,809	0,811	0,762	0,731	0,735	0,699	0,689	0,667	0,755	0,673	0,649	0,662	0,633	0,629	0,646	0,710	0,733
15	0,904	0,898	0,863	0,821	0,819	0,819	0,723	0,724	0,694	0,699	0,671	0,758	0,676	0,653	0,663	0,669	0,728	0,675	0,637	0,659
16	0,929	0,890	0,856	0,686	0,653	0,597	0,593	0,722	0,564	0,536	0,508	0,487	0,520	0,503	0,498	0,460	0,493	0,546	0,478	0,481
17	0,933	0,909	0,817	0,886	0,878	0,875	0,859	0,538	0,848	0,826	0,810	0,828	0,821	0,815	0,820	0,818	0,736	0,807	0,720	0,807
18	0,929	0,888	0,859	0,844	0,824	0,800	0,811	0,800	0,784	0,771	0,763	0,758	0,745	0,746	0,744	0,719	0,734	0,722	0,596	0,718
19	0,882	0,788	0,780	0,708	0,722	0,678	0,666	0,512	0,575	0,533	0,480	0,439	0,460	0,563	0,500	0,495	0,518	0,468	0,442	0,445
20	0,969	0,960	0,920	0,926	0,912	0,904	0,861	0,858	0,853	0,845	0,833	0,823	0,815	0,807	0,800	0,806	0,814	0,789	0,798	0,790
21	0,916	0,865	0,767	0,717	0,724	0,700	0,675	0,674	0,661	0,622	0,633	0,604	0,632	0,686	0,671	0,536	0,601	0,668	0,591	0,632
22	0,896	0,835	0,850	0,785	0,765	0,832	0,725	0,786	0,749	0,688	0,676	0,677	0,676	0,661	0,649	0,649	0,656	0,660	0,634	0,639
23	0,911	0,891	0,875	0,845	0,842	0,828	0,812	0,791	0,759	0,789	0,783	0,698	0,754	0,759	0,753	0,741	0,715	0,755	0,712	0,706
24	0,925	0,860	0,819	0,779	0,733	0,688	0,723	0,718	0,697	0,678	0,693	0,705	0,638	0,636	0,585	0,612	0,605	0,587	0,670	0,674
25	0,894	0,629	0,618	0,625	0,613	0,593	0,618	0,603	0,761	0,570	0,596	0,628	0,561	0,581	0,737	0,596	0,578	0,707	0,687	0,555

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

26	0,899	0,834	0,796	0,807	0,787	0,776	0,770	0,767	0,754	0,764	0,736	0,743	0,741	0,736	0,694	0,724	0,714	0,694	0,712	0,727
27	0,887	0,793	0,777	0,768	0,751	0,717	0,702	0,709	0,684	0,684	0,672	0,674	0,677	0,678	0,662	0,656	0,746	0,671	0,665	0,644
28	0,952	0,892	0,859	0,826	0,793	0,795	0,750	0,741	0,746	0,737	0,726	0,711	0,709	0,701	0,696	0,687	0,690	0,679	0,691	0,664
29	0,876	0,858	0,804	0,767	0,723	0,714	0,678	0,674	0,645	0,635	0,637	0,640	0,621	0,625	0,627	0,609	0,607	0,596	0,591	0,601
30	0,920	0,890	0,865	0,856	0,814	0,807	0,786	0,781	0,757	0,745	0,730	0,703	0,730	0,702	0,671	0,708	0,711	0,647	0,697	0,669
31	0,921	0,884	0,852	0,831	0,824	0,806	0,786	0,783	0,751	0,729	0,721	0,713	0,717	0,712	0,694	0,686	0,695	0,689	0,671	0,669
32	0,945	0,893	0,859	0,855	0,843	0,831	0,815	0,806	0,792	0,785	0,789	0,761	0,773	0,760	0,766	0,731	0,738	0,727	0,738	0,738
33	0,867	0,859	0,826	0,811	0,794	0,774	0,735	0,737	0,747	0,726	0,715	0,722	0,705	0,699	0,668	0,661	0,682	0,656	0,661	0,670
34	0,918	0,883	0,859	0,811	0,799	0,761	0,765	0,697	0,692	0,713	0,693	0,710	0,689	0,647	0,679	0,636	0,664	0,656	0,682	0,610
35	0,932	0,904	0,868	0,820	0,799	0,786	0,769	0,756	0,740	0,734	0,705	0,717	0,697	0,687	0,698	0,670	0,686	0,668	0,665	0,654
36	0,923	0,885	0,842	0,816	0,782	0,774	0,739	0,734	0,713	0,711	0,691	0,671	0,686	0,676	0,658	0,673	0,634	0,620	0,632	0,638
37	0,926	0,883	0,869	0,820	0,809	0,774	0,750	0,732	0,717	0,710	0,689	0,687	0,664	0,663	0,668	0,633	0,638	0,651	0,638	0,634
38	0,900	0,861	0,817	0,785	0,770	0,751	0,737	0,706	0,719	0,703	0,689	0,687	0,549	0,683	0,665	0,558	0,636	0,569	0,639	0,654
39	0,921	0,900	0,854	0,816	0,805	0,769	0,765	0,760	0,720	0,606	0,717	0,685	0,699	0,604	0,667	0,655	0,547	0,450	0,586	0,572
40	0,885	0,847	0,781	0,769	0,737	0,700	0,675	0,685	0,670	0,629	0,634	0,635	0,615	0,596	0,601	0,625	0,585	0,590	0,605	0,579
41	0,885	0,825	0,777	0,746	0,703	0,683	0,757	0,778	0,752	0,733	0,758	0,598	0,605	0,787	0,778	0,590	0,782	0,782	0,583	0,705
42	0,921	0,910	0,867	0,818	0,761	0,731	0,722	0,697	0,687	0,682	0,661	0,648	0,642	0,638	0,637	0,620	0,572	0,623	0,613	0,609
43	0,836	0,810	0,767	0,752	0,708	0,680	0,679	0,677	0,646	0,473	0,565	0,630	0,542	0,573	0,535	0,589	0,540	0,607	0,539	0,557
44	0,915	0,866	0,832	0,805	0,782	0,789	0,755	0,718	0,708	0,722	0,714	0,718	0,704	0,671	0,679	0,655	0,650	0,643	0,639	0,634
45	0,919	0,878	0,819	0,809	0,800	0,768	0,750	0,737	0,735	0,699	0,718	0,689	0,642	0,672	0,659	0,648	0,630	0,635	0,648	0,660
46	0,873	0,833	0,776	0,745	0,716	0,689	0,694	0,661	0,626	0,615	0,617	0,615	0,607	0,572	0,583	0,558	0,559	0,555	0,496	0,563
47	0,782	0,669	0,642	0,533	0,483	0,497	0,338	0,313	0,358	0,337	0,299	0,320	0,283	0,303	0,274	0,305	0,264	0,268	0,355	0,263
48	0,756	0,717	0,686	0,658	0,631	0,572	0,565	0,583	0,505	0,476	0,554	0,531	0,495	0,517	0,489	0,518	0,526	0,506	0,479	0,500
49	0,965	0,950	0,954	0,948	0,937	0,951	0,948	0,910	0,929	0,863	0,938	0,858	0,865	0,888	0,856	0,868	0,901	0,847	0,809	0,797
50	0,961	0,961	0,941	0,961	0,948	0,944	0,855	0,863	0,855	0,877	0,846	0,829	0,887	0,807	0,781	0,781	0,770	0,748	0,794	0,709
51	0,932	0,915	0,913	0,881	0,898	0,855	0,853	0,811	0,825	0,788	0,830	0,810	0,779	0,784	0,779	0,770	0,799	0,735	0,753	0,726
52	0,787	0,757	0,773	0,711	0,763	0,641	0,632	0,745	0,615	0,590	0,544	0,531	0,499	0,496	0,463	0,725	0,443	0,710	0,715	0,418

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

53	0,832	0,819	0,815	0,803	0,809	0,800	0,796	0,781	0,790	0,773	0,788	0,766	0,596	0,554	0,748	0,754	0,539	0,751	0,747	0,746
54	0,934	0,936	0,924	0,915	0,914	0,867	0,884	0,885	0,874	0,838	0,876	0,848	0,708	0,837	0,855	0,802	0,828	0,818	0,809	0,830
55	0,937	0,930	0,918	0,911	0,901	0,899	0,909	0,876	0,874	0,868	0,846	0,880	0,884	0,861	0,829	0,841	0,828	0,829	0,846	0,833
56	0,859	0,838	0,828	0,819	0,790	0,733	0,777	0,759	0,789	0,747	0,710	0,717	0,732	0,662	0,715	0,637	0,670	0,689	0,640	0,635
57	0,829	0,796	0,751	0,757	0,739	0,728	0,747	0,727	0,717	0,725	0,689	0,690	0,714	0,680	0,713	0,681	0,664	0,636	0,636	0,637
58	0,848	0,838	0,814	0,783	0,791	0,778	0,768	0,716	0,747	0,759	0,697	0,713	0,732	0,720	0,731	0,679	0,722	0,688	0,686	0,679
59	0,861	0,842	0,841	0,812	0,809	0,807	0,798	0,804	0,792	0,794	0,795	0,779	0,783	0,766	0,769	0,764	0,752	0,770	0,784	0,758
60	0,976	0,974	0,978	0,962	0,981	0,939	0,970	0,938	0,913	0,925	0,941	0,900	0,909	0,885	0,880	0,889	0,947	0,845	0,863	0,813
61	0,967	0,966	0,971	0,959	0,961	0,953	0,964	0,956	0,947	0,929	0,892	0,924	0,928	0,896	0,921	0,823	0,926	0,901	0,841	0,799
62	0,971	0,969	0,957	0,939	0,958	0,922	0,888	0,893	0,914	0,827	0,833	0,859	0,840	0,796	0,839	0,791	0,789	0,772	0,772	0,743
63	0,933	0,927	0,896	0,884	0,891	0,866	0,873	0,854	0,855	0,870	0,832	0,829	0,807	0,813	0,800	0,784	0,813	0,765	0,810	0,788
64	0,924	0,923	0,896	0,901	0,892	0,902	0,889	0,885	0,887	0,850	0,881	0,776	0,857	0,842	0,826	0,803	0,712	0,799	0,777	0,717
65	0,927	0,883	0,909	0,909	0,870	0,881	0,871	0,852	0,836	0,838	0,816	0,829	0,801	0,798	0,806	0,801	0,746	0,747	0,781	0,729
66	0,939	0,910	0,919	0,853	0,903	0,874	0,847	0,896	0,812	0,822	0,838	0,773	0,783	0,725	0,739	0,784	0,719	0,777	0,699	0,713
67	0,908	0,778	0,882	0,894	0,904	0,859	0,826	0,890	0,824	0,798	0,834	0,827	0,784	0,767	0,712	0,723	0,725	0,744	0,760	0,756
68	0,749	0,717	0,827	0,690	0,663	0,793	0,808	0,602	0,577	0,526	0,516	0,769	0,493	0,749	0,754	0,488	0,759	0,770	0,444	0,423
69	0,900	0,884	0,850	0,822	0,812	0,808	0,846	0,824	0,822	0,815	0,824	0,796	0,791	0,803	0,780	0,777	0,750	0,770	0,787	0,777
70	0,952	0,952	0,948	0,949	0,945	0,946	0,941	0,941	0,938	0,943	0,929	0,934	0,926	0,931	0,926	0,921	0,916	0,926	0,917	0,924
71	0,950	0,945	0,939	0,943	0,926	0,933	0,926	0,934	0,923	0,906	0,898	0,916	0,906	0,905	0,913	0,900	0,901	0,899	0,878	0,900
72	0,945	0,943	0,929	0,928	0,937	0,936	0,922	0,919	0,924	0,894	0,905	0,917	0,903	0,899	0,896	0,891	0,880	0,881	0,866	0,906
73	0,957	0,958	0,953	0,953	0,946	0,940	0,944	0,939	0,947	0,933	0,928	0,929	0,935	0,926	0,926	0,927	0,925	0,929	0,894	0,929
74	0,949	0,943	0,939	0,939	0,938	0,934	0,922	0,917	0,925	0,913	0,918	0,922	0,920	0,912	0,902	0,904	0,905	0,878	0,857	0,888
75	0,943	0,939	0,932	0,924	0,902	0,889	0,912	0,894	0,909	0,905	0,886	0,873	0,888	0,870	0,870	0,867	0,884	0,875	0,841	0,861
76	0,955	0,953	0,946	0,952	0,937	0,951	0,945	0,941	0,941	0,934	0,948	0,929	0,946	0,934	0,916	0,928	0,930	0,921	0,881	0,926
77	0,950	0,941	0,942	0,945	0,937	0,929	0,925	0,935	0,930	0,929	0,919	0,930	0,929	0,892	0,891	0,904	0,926	0,907	0,872	0,893
78	0,936	0,935	0,914	0,913	0,909	0,863	0,892	0,860	0,835	0,835	0,867	0,832	0,833	0,842	0,829	0,831	0,824	0,837	0,822	0,815
79	0,937	0,932	0,906	0,914	0,910	0,859	0,912	0,859	0,868	0,875	0,874	0,872	0,853	0,841	0,711	0,839	0,836	0,836	0,820	0,824

Výsledné hodnoty korelačního koeficientu pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

80	0,933	0,929	0,926	0,920	0,906	0,893	0,886	0,851	0,874	0,848	0,862	0,887	0,863	0,852	0,812	0,844	0,832	0,823	0,843	0,805
81	0,971	0,982	0,970	0,980	0,978	0,976	0,966	0,974	0,971	0,967	0,957	0,956	0,965	0,931	0,942	0,934	0,925	0,936	0,925	0,931
82	0,811	0,830	0,780	0,747	0,813	0,819	0,803	0,792	0,806	0,797	0,777	0,773	0,790	0,744	0,771	0,760	0,530	0,765	0,739	0,734
83	0,848	0,796	0,775	0,824	0,741	0,828	0,701	0,823	0,811	0,642	0,809	0,602	0,796	0,786	0,533	0,785	0,786	0,777	0,753	0,742
84	0,936	0,918	0,909	0,904	0,901	0,867	0,872	0,863	0,809	0,817	0,802	0,832	0,785	0,783	0,789	0,756	0,730	0,700	0,733	0,689
85	0,938	0,935	0,904	0,888	0,899	0,880	0,860	0,889	0,823	0,828	0,782	0,802	0,765	0,761	0,746	0,731	0,692	0,722	0,739	0,714
86	0,952	0,942	0,925	0,923	0,892	0,928	0,870	0,850	0,836	0,827	0,853	0,835	0,793	0,750	0,744	0,770	0,751	0,749	0,719	0,718
87	0,907	0,903	0,872	0,858	0,862	0,888	0,844	0,840	0,841	0,853	0,836	0,847	0,802	0,807	0,759	0,723	0,771	0,753	0,661	0,767
88	0,912	0,899	0,884	0,880	0,858	0,853	0,865	0,844	0,849	0,814	0,751	0,545	0,753	0,753	0,776	0,806	0,718	0,799	0,750	0,778
89	0,902	0,894	0,863	0,848	0,835	0,860	0,829	0,837	0,793	0,813	0,762	0,820	0,753	0,753	0,761	0,731	0,746	0,720	0,699	0,737
90	0,902	0,889	0,874	0,882	0,843	0,840	0,826	0,799	0,823	0,826	0,796	0,802	0,791	0,807	0,757	0,725	0,719	0,778	0,774	0,790
91	0,932	0,901	0,891	0,862	0,877	0,830	0,844	0,823	0,834	0,806	0,826	0,820	0,775	0,796	0,817	0,741	0,709	0,783	0,718	0,708
92	0,907	0,860	0,865	0,853	0,830	0,811	0,838	0,803	0,812	0,778	0,799	0,830	0,795	0,745	0,776	0,793	0,756	0,743	0,743	0,769
93	0,925	0,912	0,905	0,883	0,865	0,856	0,853	0,829	0,821	0,836	0,839	0,812	0,790	0,776	0,762	0,800	0,800	0,797	0,800	0,740
94	0,917	0,899	0,905	0,880	0,873	0,847	0,839	0,838	0,835	0,789	0,815	0,803	0,820	0,804	0,786	0,790	0,728	0,731	0,775	0,781
95	0,937	0,933	0,898	0,891	0,906	0,886	0,882	0,864	0,851	0,854	0,850	0,848	0,885	0,871	0,835	0,820	0,791	0,800	0,843	0,793
96	0,959	0,977	0,957	0,933	0,938	0,927	0,944	0,909	0,882	0,917	0,878	0,900	0,835	0,845	0,818	0,855	0,803	0,847	0,814	0,748
97	0,972	0,965	0,967	0,960	0,949	0,954	0,941	0,922	0,955	0,916	0,948	0,922	0,940	0,902	0,925	0,898	0,887	0,888	0,869	0,827
98	0,963	0,961	0,956	0,950	0,948	0,947	0,943	0,947	0,928	0,914	0,931	0,916	0,880	0,908	0,860	0,877	0,902	0,840	0,877	0,859
99	0,965	0,964	0,951	0,934	0,935	0,892	0,894	0,860	0,935	0,925	0,862	0,862	0,826	0,893	0,826	0,833	0,814	0,834	0,781	0,817
100	0,969	0,963	0,961	0,954	0,954	0,949	0,957	0,949	0,897	0,915	0,938	0,929	0,888	0,926	0,819	0,886	0,811	0,786	0,818	0,862
medián	0,921	0,889	0,863	0,825	0,817	0,815	0,804	0,789	0,791	0,772	0,767	0,758	0,749	0,746	0,744	0,725	0,719	0,725	0,716	0,713
průměr	0,902	0,865	0,844	0,815	0,804	0,789	0,780	0,766	0,757	0,740	0,740	0,728	0,715	0,720	0,714	0,705	0,695	0,700	0,693	0,688

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

Příloha I: *Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
1	0,929	0,902	0,856	0,852	0,846	0,831	0,819	0,811	0,814	0,819	0,802	0,792	0,817	0,799	0,779	0,793	0,781	0,785	0,778	0,788
2	0,882	0,842	0,835	0,702	0,721	0,660	0,706	0,669	0,687	0,640	0,663	0,623	0,618	0,630	0,593	0,587	0,584	0,550	0,595	0,555
3	0,882	0,851	0,857	0,834	0,833	0,826	0,813	0,817	0,802	0,792	0,798	0,799	0,796	0,788	0,793	0,788	0,791	0,808	0,794	0,779
4	0,885	0,853	0,831	0,819	0,822	0,807	0,799	0,802	0,780	0,779	0,715	0,708	0,782	0,776	0,678	0,679	0,663	0,666	0,642	0,637
5	0,898	0,873	0,854	0,838	0,839	0,834	0,823	0,820	0,817	0,765	0,730	0,715	0,738	0,759	0,798	0,730	0,693	0,712	0,670	0,675
6	0,849	0,825	0,801	0,816	0,798	0,791	0,799	0,777	0,787	0,792	0,772	0,781	0,782	0,773	0,777	0,771	0,751	0,744	0,768	0,758
7	0,896	0,721	0,849	0,687	0,694	0,690	0,706	0,696	0,661	0,660	0,637	0,628	0,646	0,621	0,608	0,614	0,590	0,591	0,566	0,808
8	0,843	0,827	0,811	0,814	0,809	0,793	0,796	0,782	0,780	0,781	0,776	0,780	0,782	0,777	0,773	0,779	0,771	0,774	0,774	0,774
9	0,827	0,820	0,816	0,805	0,801	0,799	0,795	0,792	0,788	0,710	0,727	0,777	0,782	0,780	0,777	0,642	0,780	0,650	0,645	0,769
10	0,945	0,916	0,769	0,776	0,902	0,908	0,747	0,894	0,895	0,911	0,691	0,694	0,673	0,893	0,886	0,870	0,652	0,903	0,883	0,869
11	0,932	0,903	0,885	0,875	0,872	0,868	0,848	0,856	0,857	0,849	0,849	0,848	0,838	0,841	0,762	0,837	0,843	0,839	0,688	0,843
12	0,814	0,761	0,751	0,735	0,725	0,728	0,710	0,693	0,683	0,665	0,661	0,644	0,662	0,635	0,624	0,631	0,610	0,592	0,576	0,580
13	0,886	0,865	0,852	0,738	0,726	0,720	0,719	0,811	0,703	0,697	0,814	0,796	0,675	0,799	0,656	0,632	0,660	0,652	0,796	0,646
14	0,932	0,913	0,903	0,865	0,873	0,862	0,853	0,856	0,849	0,847	0,848	0,888	0,844	0,829	0,834	0,835	0,831	0,832	0,882	0,874
15	0,921	0,917	0,910	0,887	0,898	0,898	0,866	0,866	0,850	0,861	0,853	0,893	0,857	0,849	0,849	0,851	0,880	0,849	0,832	0,844
16	0,963	0,953	0,950	0,890	0,887	0,879	0,873	0,831	0,861	0,860	0,860	0,854	0,852	0,849	0,852	0,701	0,848	0,753	0,839	0,845
17	0,885	0,870	0,742	0,853	0,851	0,852	0,842	0,687	0,835	0,831	0,825	0,827	0,819	0,819	0,827	0,826	0,623	0,816	0,615	0,814
18	0,850	0,814	0,802	0,790	0,786	0,779	0,776	0,766	0,767	0,748	0,759	0,757	0,746	0,740	0,746	0,742	0,741	0,737	0,598	0,736
19	0,918	0,871	0,881	0,849	0,870	0,850	0,847	0,769	0,831	0,827	0,748	0,710	0,831	0,725	0,819	0,678	0,817	0,811	0,804	0,639
20	0,914	0,901	0,870	0,872	0,867	0,864	0,840	0,838	0,833	0,831	0,826	0,824	0,816	0,810	0,811	0,809	0,819	0,804	0,807	0,808
21	0,920	0,879	0,849	0,839	0,840	0,832	0,827	0,825	0,824	0,809	0,815	0,803	0,808	0,730	0,723	0,637	0,792	0,698	0,804	0,668
22	0,930	0,918	0,917	0,898	0,890	0,913	0,864	0,903	0,885	0,857	0,858	0,851	0,854	0,842	0,849	0,847	0,845	0,845	0,834	0,834
23	0,775	0,797	0,789	0,771	0,770	0,760	0,754	0,741	0,747	0,746	0,743	0,730	0,726	0,731	0,742	0,729	0,727	0,734	0,625	0,718
24	0,919	0,896	0,885	0,869	0,870	0,730	0,859	0,835	0,695	0,844	0,685	0,832	0,645	0,829	0,604	0,618	0,612	0,607	0,819	0,822
25	0,838	0,665	0,648	0,648	0,632	0,610	0,620	0,597	0,753	0,566	0,574	0,547	0,555	0,522	0,742	0,534	0,502	0,731	0,709	0,499

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

26	0,867	0,836	0,814	0,821	0,805	0,801	0,793	0,786	0,784	0,791	0,782	0,774	0,783	0,769	0,762	0,770	0,785	0,743	0,754	0,773
27	0,886	0,822	0,832	0,838	0,828	0,816	0,813	0,812	0,804	0,806	0,797	0,802	0,799	0,800	0,795	0,784	0,681	0,795	0,788	0,783
28	0,911	0,866	0,854	0,840	0,825	0,823	0,801	0,807	0,795	0,793	0,783	0,782	0,776	0,780	0,778	0,778	0,771	0,767	0,779	0,766
29	0,883	0,873	0,851	0,848	0,825	0,825	0,812	0,811	0,799	0,799	0,798	0,799	0,791	0,790	0,800	0,790	0,788	0,785	0,783	0,779
30	0,863	0,829	0,804	0,809	0,792	0,787	0,775	0,771	0,761	0,763	0,762	0,745	0,754	0,752	0,744	0,749	0,750	0,740	0,742	0,732
31	0,867	0,835	0,825	0,810	0,804	0,795	0,787	0,784	0,781	0,774	0,774	0,772	0,776	0,767	0,766	0,760	0,753	0,756	0,755	0,747
32	0,881	0,844	0,813	0,823	0,815	0,805	0,797	0,795	0,791	0,785	0,785	0,779	0,781	0,774	0,776	0,767	0,769	0,763	0,758	0,758
33	0,853	0,850	0,822	0,822	0,812	0,812	0,785	0,796	0,795	0,793	0,797	0,799	0,792	0,789	0,778	0,768	0,779	0,762	0,762	0,774
34	0,873	0,846	0,839	0,819	0,813	0,803	0,797	0,791	0,790	0,782	0,785	0,788	0,787	0,780	0,776	0,772	0,778	0,765	0,772	0,768
35	0,856	0,835	0,809	0,788	0,790	0,784	0,774	0,773	0,766	0,758	0,755	0,753	0,746	0,742	0,747	0,738	0,733	0,739	0,738	0,729
36	0,860	0,828	0,812	0,799	0,787	0,787	0,772	0,766	0,688	0,761	0,750	0,745	0,752	0,748	0,745	0,751	0,741	0,729	0,732	0,733
37	0,870	0,838	0,836	0,803	0,801	0,784	0,781	0,772	0,772	0,764	0,754	0,760	0,751	0,750	0,751	0,746	0,742	0,738	0,739	0,740
38	0,891	0,874	0,858	0,848	0,841	0,840	0,833	0,820	0,826	0,821	0,818	0,815	0,710	0,811	0,804	0,681	0,679	0,674	0,793	0,647
39	0,917	0,899	0,885	0,867	0,875	0,858	0,852	0,854	0,848	0,692	0,840	0,825	0,836	0,654	0,816	0,824	0,619	0,615	0,620	0,610
40	0,897	0,883	0,857	0,860	0,846	0,839	0,822	0,826	0,818	0,806	0,805	0,814	0,808	0,804	0,800	0,695	0,800	0,794	0,799	0,788
41	0,912	0,880	0,874	0,859	0,843	0,839	0,831	0,816	0,833	0,814	0,787	0,822	0,727	0,786	0,780	0,713	0,757	0,770	0,701	0,753
42	0,941	0,929	0,912	0,894	0,871	0,864	0,866	0,857	0,854	0,853	0,849	0,849	0,845	0,840	0,840	0,838	0,689	0,833	0,832	0,827
43	0,900	0,888	0,880	0,874	0,868	0,857	0,861	0,862	0,854	0,699	0,663	0,852	0,643	0,840	0,642	0,835	0,845	0,855	0,840	0,851
44	0,897	0,877	0,858	0,847	0,839	0,846	0,834	0,824	0,829	0,825	0,826	0,832	0,810	0,820	0,804	0,811	0,815	0,810	0,810	0,804
45	0,884	0,864	0,838	0,840	0,836	0,823	0,815	0,817	0,815	0,806	0,805	0,801	0,798	0,795	0,796	0,794	0,785	0,792	0,789	0,779
46	0,841	0,831	0,803	0,794	0,772	0,778	0,767	0,760	0,746	0,746	0,745	0,743	0,737	0,740	0,727	0,724	0,709	0,729	0,713	0,715
47	0,905	0,882	0,873	0,880	0,874	0,865	0,858	0,851	0,851	0,845	0,835	0,826	0,823	0,839	0,822	0,817	0,816	0,810	0,599	0,813
48	0,874	0,863	0,851	0,860	0,839	0,807	0,822	0,831	0,819	0,813	0,822	0,802	0,795	0,800	0,809	0,797	0,809	0,804	0,805	0,811
49	0,965	0,950	0,954	0,948	0,937	0,951	0,948	0,910	0,929	0,863	0,938	0,858	0,865	0,888	0,856	0,868	0,901	0,847	0,809	0,797
50	0,961	0,961	0,941	0,961	0,948	0,944	0,855	0,863	0,855	0,877	0,846	0,829	0,887	0,807	0,781	0,781	0,770	0,748	0,794	0,709
51	0,932	0,915	0,913	0,881	0,898	0,855	0,853	0,811	0,825	0,788	0,830	0,810	0,779	0,784	0,779	0,770	0,799	0,735	0,753	0,726
52	0,787	0,757	0,773	0,711	0,763	0,641	0,632	0,745	0,615	0,590	0,544	0,531	0,499	0,496	0,463	0,725	0,443	0,710	0,715	0,418

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

53	0,832	0,819	0,815	0,803	0,809	0,800	0,796	0,781	0,790	0,773	0,788	0,766	0,596	0,554	0,748	0,754	0,539	0,751	0,747	0,746
54	0,934	0,936	0,924	0,915	0,914	0,867	0,884	0,885	0,874	0,838	0,876	0,848	0,708	0,837	0,855	0,802	0,828	0,818	0,809	0,830
55	0,937	0,930	0,918	0,911	0,901	0,899	0,909	0,876	0,874	0,868	0,846	0,880	0,884	0,861	0,829	0,841	0,828	0,829	0,846	0,833
56	0,859	0,838	0,828	0,819	0,790	0,733	0,777	0,759	0,789	0,747	0,710	0,717	0,732	0,662	0,715	0,637	0,670	0,689	0,640	0,635
57	0,829	0,796	0,751	0,757	0,739	0,728	0,747	0,727	0,717	0,725	0,689	0,690	0,714	0,680	0,713	0,681	0,664	0,636	0,636	0,637
58	0,848	0,838	0,814	0,783	0,791	0,778	0,768	0,716	0,747	0,759	0,697	0,713	0,732	0,720	0,731	0,679	0,722	0,688	0,686	0,679
59	0,861	0,842	0,841	0,812	0,809	0,807	0,798	0,804	0,792	0,794	0,795	0,779	0,783	0,766	0,769	0,764	0,752	0,770	0,784	0,758
60	0,976	0,974	0,978	0,962	0,981	0,939	0,970	0,938	0,913	0,925	0,941	0,900	0,909	0,885	0,880	0,889	0,947	0,845	0,863	0,813
61	0,967	0,966	0,971	0,959	0,961	0,953	0,964	0,956	0,947	0,929	0,892	0,924	0,928	0,896	0,921	0,823	0,926	0,901	0,841	0,799
62	0,971	0,969	0,957	0,939	0,958	0,922	0,888	0,893	0,914	0,827	0,833	0,859	0,840	0,796	0,839	0,791	0,789	0,772	0,772	0,743
63	0,933	0,927	0,896	0,884	0,891	0,866	0,873	0,854	0,855	0,870	0,832	0,829	0,807	0,813	0,800	0,784	0,813	0,765	0,810	0,788
64	0,924	0,923	0,896	0,901	0,892	0,902	0,889	0,885	0,887	0,850	0,881	0,776	0,857	0,842	0,826	0,803	0,712	0,799	0,777	0,717
65	0,927	0,883	0,909	0,909	0,870	0,881	0,871	0,852	0,836	0,838	0,816	0,829	0,801	0,798	0,806	0,801	0,746	0,747	0,781	0,729
66	0,939	0,910	0,919	0,853	0,903	0,874	0,847	0,896	0,812	0,822	0,838	0,773	0,783	0,725	0,739	0,784	0,719	0,777	0,699	0,713
67	0,908	0,778	0,882	0,894	0,904	0,859	0,826	0,890	0,824	0,798	0,834	0,827	0,784	0,767	0,712	0,723	0,725	0,744	0,760	0,756
68	0,749	0,717	0,827	0,690	0,663	0,793	0,808	0,602	0,577	0,526	0,516	0,769	0,493	0,749	0,754	0,488	0,759	0,770	0,444	0,423
69	0,900	0,884	0,850	0,822	0,812	0,808	0,846	0,824	0,822	0,815	0,824	0,796	0,791	0,803	0,780	0,777	0,750	0,770	0,787	0,777
70	0,952	0,952	0,948	0,949	0,945	0,946	0,941	0,941	0,938	0,943	0,929	0,934	0,926	0,931	0,926	0,921	0,916	0,926	0,917	0,924
71	0,950	0,945	0,939	0,943	0,926	0,933	0,926	0,934	0,923	0,906	0,898	0,916	0,906	0,905	0,913	0,900	0,901	0,899	0,878	0,900
72	0,945	0,943	0,929	0,928	0,937	0,936	0,922	0,919	0,924	0,894	0,905	0,917	0,903	0,899	0,896	0,891	0,880	0,881	0,866	0,906
73	0,957	0,958	0,953	0,953	0,946	0,940	0,944	0,939	0,947	0,933	0,928	0,929	0,935	0,926	0,926	0,927	0,925	0,929	0,894	0,929
74	0,949	0,943	0,939	0,939	0,938	0,934	0,922	0,917	0,925	0,913	0,918	0,922	0,920	0,912	0,902	0,904	0,905	0,878	0,857	0,888
75	0,943	0,939	0,932	0,924	0,902	0,889	0,912	0,894	0,909	0,905	0,886	0,873	0,888	0,870	0,870	0,867	0,884	0,875	0,841	0,861
76	0,955	0,953	0,946	0,952	0,937	0,951	0,945	0,941	0,941	0,934	0,948	0,929	0,946	0,934	0,916	0,928	0,930	0,921	0,881	0,926
77	0,950	0,941	0,942	0,945	0,937	0,929	0,925	0,935	0,930	0,929	0,919	0,930	0,929	0,892	0,891	0,904	0,926	0,907	0,872	0,893
78	0,936	0,935	0,914	0,913	0,909	0,863	0,892	0,860	0,835	0,835	0,867	0,832	0,833	0,842	0,829	0,831	0,824	0,837	0,822	0,815
79	0,937	0,932	0,906	0,914	0,910	0,859	0,912	0,859	0,868	0,875	0,874	0,872	0,853	0,841	0,711	0,839	0,836	0,836	0,820	0,824

Výsledné hodnoty indexu strukturální podobnosti pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

80	0,933	0,929	0,926	0,920	0,906	0,893	0,886	0,851	0,874	0,848	0,862	0,887	0,863	0,852	0,812	0,844	0,832	0,823	0,843	0,805
81	0,971	0,982	0,970	0,980	0,978	0,976	0,966	0,974	0,971	0,967	0,957	0,956	0,965	0,931	0,942	0,934	0,925	0,936	0,925	0,931
82	0,811	0,830	0,780	0,747	0,813	0,819	0,803	0,792	0,806	0,797	0,777	0,773	0,790	0,744	0,771	0,760	0,530	0,765	0,739	0,734
83	0,848	0,796	0,775	0,824	0,741	0,828	0,701	0,823	0,811	0,642	0,809	0,602	0,796	0,786	0,533	0,785	0,786	0,777	0,753	0,742
84	0,936	0,918	0,909	0,904	0,901	0,867	0,872	0,863	0,809	0,817	0,802	0,832	0,785	0,783	0,789	0,756	0,730	0,700	0,733	0,689
85	0,938	0,935	0,904	0,888	0,899	0,880	0,860	0,889	0,823	0,828	0,782	0,802	0,765	0,761	0,746	0,731	0,692	0,722	0,739	0,714
86	0,952	0,942	0,925	0,923	0,892	0,928	0,870	0,850	0,836	0,827	0,853	0,835	0,793	0,750	0,744	0,770	0,751	0,749	0,719	0,718
87	0,907	0,903	0,872	0,858	0,862	0,888	0,844	0,840	0,841	0,853	0,836	0,847	0,802	0,807	0,759	0,723	0,771	0,753	0,661	0,767
88	0,912	0,899	0,884	0,880	0,858	0,853	0,865	0,844	0,849	0,814	0,751	0,545	0,753	0,753	0,776	0,806	0,718	0,799	0,750	0,778
89	0,902	0,894	0,863	0,848	0,835	0,860	0,829	0,837	0,793	0,813	0,762	0,820	0,753	0,753	0,761	0,731	0,746	0,720	0,699	0,737
90	0,902	0,889	0,874	0,882	0,843	0,840	0,826	0,799	0,823	0,826	0,796	0,802	0,791	0,807	0,757	0,725	0,719	0,778	0,774	0,790
91	0,932	0,901	0,891	0,862	0,877	0,830	0,844	0,823	0,834	0,806	0,826	0,820	0,775	0,796	0,817	0,741	0,709	0,783	0,718	0,708
92	0,907	0,860	0,865	0,853	0,830	0,811	0,838	0,803	0,812	0,778	0,799	0,830	0,795	0,745	0,776	0,793	0,756	0,743	0,743	0,769
93	0,925	0,912	0,905	0,883	0,865	0,856	0,853	0,829	0,821	0,836	0,839	0,812	0,790	0,776	0,762	0,800	0,800	0,797	0,800	0,740
94	0,917	0,899	0,905	0,880	0,873	0,847	0,839	0,838	0,835	0,789	0,815	0,803	0,820	0,804	0,786	0,790	0,728	0,731	0,775	0,781
95	0,937	0,933	0,898	0,891	0,906	0,886	0,882	0,864	0,851	0,854	0,850	0,848	0,885	0,871	0,835	0,820	0,791	0,800	0,843	0,793
96	0,959	0,977	0,957	0,933	0,938	0,927	0,944	0,909	0,882	0,917	0,878	0,900	0,835	0,845	0,818	0,855	0,803	0,847	0,814	0,748
97	0,972	0,965	0,967	0,960	0,949	0,954	0,941	0,922	0,955	0,916	0,948	0,922	0,940	0,902	0,925	0,898	0,887	0,888	0,869	0,827
98	0,963	0,961	0,956	0,950	0,948	0,947	0,943	0,947	0,928	0,914	0,931	0,916	0,880	0,908	0,860	0,877	0,902	0,840	0,877	0,859
99	0,965	0,964	0,951	0,934	0,935	0,892	0,894	0,860	0,935	0,925	0,862	0,862	0,826	0,893	0,826	0,833	0,814	0,834	0,781	0,817
100	0,969	0,963	0,961	0,954	0,954	0,949	0,957	0,949	0,897	0,915	0,938	0,929	0,888	0,926	0,819	0,886	0,811	0,786	0,818	0,862
medián	0,912	0,888	0,873	0,860	0,863	0,851	0,841	0,830	0,825	0,816	0,815	0,813	0,794	0,797	0,781	0,784	0,771	0,773	0,779	0,773
průměr	0,904	0,883	0,872	0,858	0,854	0,844	0,838	0,830	0,825	0,812	0,807	0,805	0,793	0,794	0,784	0,776	0,765	0,776	0,765	0,763

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

Příloha J: *Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.*

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
1	454,943	834,907	1435,295	1597,430	1766,534	2181,466	2508,976	2643,903	2643,414	2659,511	3012,933	3251,387	2844,105	3113,942	3540,484	3279,106	3538,773	3586,638	3603,508	3648,887
2	880,039	1510,509	1814,942	2565,990	2269,591	3321,810	2528,155	3286,369	2861,678	3827,599	3226,919	4223,363	4157,975	3724,521	4556,092	4494,597	4271,745	4728,618	3866,239	4401,787
3	794,897	1308,451	1564,344	2092,817	2188,007	2417,486	2662,892	2699,618	2945,483	3217,359	3188,908	3188,154	3248,024	3600,740	3392,462	3228,855	3581,768	3340,274	3395,668	3723,024
4	839,042	1386,252	1975,218	2256,365	2528,550	2891,360	3168,714	3173,830	3647,486	3694,192	3006,154	3260,858	3959,120	4128,181	3466,704	3340,242	3705,515	3704,591	4342,822	4551,328
5	735,253	1402,904	1803,790	2243,419	2513,858	2561,924	3030,793	3195,033	3381,780	2679,832	3524,893	3557,961	2823,531	2453,213	3974,119	2487,701	4200,266	3279,186	4149,656	3558,987
6	1383,742	1880,840	2146,497	2147,642	2394,496	2602,784	2547,487	2924,026	2918,946	2916,733	3181,306	3098,274	3159,775	3082,942	3319,959	3547,734	3459,105	3667,863	3557,845	3563,757
7	658,065	3720,683	1382,324	4023,680	4241,947	4375,941	2570,518	3817,923	4357,580	4593,506	4800,305	4923,332	4118,624	4841,839	3483,952	4238,115	5302,266	5032,953	3912,675	2674,929
8	1693,624	1665,331	2301,087	2262,586	2328,513	2804,822	2887,146	2997,205	3177,672	3137,049	3370,239	3207,310	3199,019	3270,688	3449,530	3394,199	3588,673	3501,992	3452,156	3578,810
9	1431,276	1430,424	1601,626	1948,339	1999,617	2042,565	2153,817	2326,664	2284,351	2609,841	2162,157	2644,262	2603,082	2727,510	2863,363	3313,272	2766,996	3322,662	2707,399	2991,067
10	499,913	933,999	1807,705	2012,562	1431,009	1418,537	2170,641	1654,141	1726,289	1476,016	2582,292	2289,761	2752,315	1756,324	1910,847	2176,819	2945,946	1686,108	1970,195	2141,130
11	568,808	1053,422	1387,117	1680,367	1930,968	2062,196	2502,103	2469,814	2526,527	2633,677	2730,559	2900,608	3067,077	3021,473	1765,997	3244,965	3061,526	3321,545	2860,165	3286,063
12	1215,802	1423,915	1814,719	2191,733	1808,437	1851,439	2005,333	2386,557	2071,297	2701,716	2620,012	2828,231	2306,701	2831,359	2895,993	3023,509	3042,371	3199,185	3316,004	3357,533
13	629,080	1010,443	1170,446	2807,038	2951,121	2932,993	2952,778	2076,714	3084,888	3369,290	2183,576	2427,072	3857,337	2525,964	3244,183	3462,728	3487,169	3740,956	2704,245	3672,789
14	317,145	556,285	643,036	1106,523	1083,081	1391,162	1656,172	1605,246	1913,108	1932,444	2146,565	1351,603	2190,702	2367,963	2307,051	2477,796	2499,076	2478,279	1647,795	1598,745
15	451,494	477,988	654,445	940,122	889,780	907,271	1503,910	1549,476	1837,953	1792,239	1909,314	1215,563	1994,196	2080,854	2085,343	2081,031	1393,704	2001,191	2382,810	2151,920
16	186,253	298,651	378,451	1169,970	1365,855	1616,879	1871,146	996,866	2223,045	2456,939	2463,483	2621,871	2750,834	2891,094	2808,328	3683,710	2986,148	2351,569	3166,794	3095,125
17	594,386	808,179	1800,265	1024,999	1096,876	1125,052	1284,401	3752,622	1393,764	1571,439	1751,122	1572,881	1697,206	1744,090	1678,870	1695,013	2768,851	1833,646	2972,050	1851,863
18	783,544	1238,703	1590,181	1755,520	1998,140	2222,699	2122,260	2298,412	2455,079	2678,113	2673,243	2738,355	2904,020	2987,587	2967,595	3212,823	3093,382	3230,458	4425,050	3226,419
19	529,729	1096,842	1121,451	1644,015	1481,720	1814,933	1947,062	2211,078	2531,363	2720,042	2402,490	3313,006	3057,124	2290,221	3112,874	3099,959	3161,651	3387,165	3522,582	3568,118
20	323,444	415,776	841,689	765,589	912,488	1004,149	1490,827	1532,881	1585,046	1681,894	1806,318	1919,535	2026,557	2130,700	2228,585	2167,802	2006,990	2351,040	2230,529	2299,535
21	503,186	865,405	1590,002	1949,584	1963,936	2222,164	2350,407	2474,207	2621,070	2953,847	2872,073	3162,669	2899,099	2108,797	2238,962	4181,618	3312,294	2272,885	3293,376	2545,256
22	540,583	855,874	803,360	1233,917	1381,663	921,628	1797,874	1225,757	1537,442	2093,844	2187,705	2230,822	2194,052	2372,817	2384,212	2393,018	2402,046	2351,306	2551,104	2490,012
23	1076,688	1267,826	1453,375	1803,979	1839,002	2038,988	2209,521	2446,092	2757,441	2480,620	2556,292	3396,914	2912,240	2829,639	2856,051	3020,316	3277,380	2869,672	3606,140	3433,972
24	427,613	830,543	1117,789	1405,889	1652,391	2191,814	1738,284	1982,922	2320,935	2125,595	2241,921	2041,787	2570,029	2478,149	3051,502	3082,766	2846,431	2948,866	2380,801	2257,667
25	1169,741	3796,977	3918,038	3819,461	3955,562	4165,292	3830,531	3941,053	2761,413	4396,989	4137,955	4035,730	4500,721	4626,079	3010,096	4277,873	4529,769	3242,664	3593,293	4728,750

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

26	953,693	1674,493	2087,162	1945,775	2192,274	2328,479	2374,390	2416,682	2514,428	2403,439	2676,563	2658,440	2588,219	2767,875	3035,769	2806,071	2808,356	3187,172	2949,264	2707,307
27	884,699	1858,288	1974,807	2119,582	2224,740	2649,095	2742,012	2721,760	2934,694	2987,529	3083,292	3112,862	3015,809	3101,924	3224,296	3233,965	2104,138	2992,400	3148,936	3453,034
28	439,672	1046,856	1392,153	1757,579	2103,190	2121,948	2652,906	2721,577	2794,575	2921,803	3007,547	3183,658	3275,630	3243,360	3367,171	3443,449	3446,153	3579,747	3338,689	3712,507
29	945,167	1087,952	1597,246	1935,460	2429,836	2545,552	2916,067	2990,462	3294,063	3429,523	3349,107	3397,017	3626,550	3666,718	3431,342	3650,987	3702,939	3864,593	3918,846	3883,612
30	805,509	1146,055	1418,173	1473,150	1922,802	2002,254	2244,455	2298,273	2588,243	2696,045	2841,955	3117,174	2887,470	3179,994	3447,388	3150,638	3146,386	3745,171	3290,050	3640,335
31	768,166	1134,566	1467,155	1658,752	1762,651	1966,080	2195,710	2227,244	2492,384	2647,173	2787,046	2899,523	2837,131	3008,975	3129,975	3209,172	3183,348	3290,234	3474,105	3529,199
32	597,764	1185,646	1631,886	1623,842	1765,519	1902,054	2101,598	2201,431	2375,184	2488,468	2435,295	2728,494	2604,427	2761,460	2715,720	3058,611	3014,588	3163,309	3084,249	3104,317
33	1214,132	1284,396	1624,302	1764,517	1967,967	2126,448	2673,078	2615,041	2542,903	2774,322	2836,583	2760,347	2972,195	3058,670	3344,296	3526,934	3244,554	3644,316	3609,557	3462,480
34	720,718	1032,331	1243,771	1680,710	1805,877	2148,369	2185,619	2679,907	2735,216	2675,165	2806,538	2760,004	2866,583	3171,292	3036,982	3325,465	3104,606	3315,058	3069,507	3543,052
35	712,013	1013,897	1399,722	1920,747	2108,356	2304,570	2510,718	2617,538	2818,223	2950,096	3245,261	3148,549	3413,225	3511,112	3407,506	3700,804	3552,518	3757,938	3801,150	3962,424
36	754,890	1135,162	1582,877	1847,598	2218,910	2292,671	2650,931	2761,753	3147,900	3002,049	3284,295	3468,568	3312,768	3505,359	3618,514	3485,956	3877,082	4029,181	3990,372	3893,662
37	717,026	1150,751	1271,448	1780,958	1915,210	2301,294	2517,052	2760,294	2948,314	3058,595	3323,585	3301,580	3526,801	3574,132	3516,607	3798,960	3900,458	3794,490	3937,888	3924,888
38	679,795	984,492	1351,181	1641,910	1778,632	1917,447	2098,942	2493,130	2258,489	2477,605	2537,081	2563,747	2628,184	2618,885	2833,336	2675,190	2462,247	2630,241	3099,753	2421,101
39	449,601	578,831	890,511	1149,546	1185,387	1432,660	1546,737	1575,205	1870,816	2934,937	1995,569	2277,936	2154,467	3396,264	2492,669	2514,182	3592,051	3467,677	3619,429	2893,880
40	663,034	899,399	1391,286	1525,108	1802,509	2094,823	2371,231	2329,823	2498,862	2765,384	2758,918	2749,355	2940,592	3088,191	3093,412	2196,575	3216,665	3264,018	3122,540	3391,078
41	627,604	1035,543	1357,186	1704,758	2134,451	2325,157	1252,683	1323,706	1291,464	1398,524	1483,869	3143,842	3240,706	1210,217	1272,853	3392,733	1257,051	1246,320	3536,543	1586,768
42	389,926	461,651	713,038	1047,029	1475,837	1731,719	1813,177	2017,906	2156,078	2165,369	2404,658	2509,330	2614,196	2622,915	2778,103	2796,245	3638,928	2815,452	2889,852	3010,898
43	746,209	916,998	1144,347	1252,156	1540,630	1750,291	1752,705	1889,443	2037,475	3076,115	3249,139	2193,486	3415,711	2547,206	3661,769	2499,345	2466,342	2162,461	2628,639	2371,677
44	567,170	890,131	1127,473	1395,082	1526,748	1497,738	1723,685	2034,218	2071,764	2085,135	2090,763	2076,519	2278,966	2416,593	2535,055	2588,518	2550,564	2651,134	2731,763	2737,744
45	588,984	897,927	1388,050	1483,305	1552,285	1843,480	2010,379	2119,705	2180,151	2459,655	2439,204	2609,221	2870,311	2805,817	2872,346	2936,356	3125,358	3045,478	3056,904	3035,098
46	1090,033	1412,538	1932,504	2218,775	2599,311	2855,364	2940,564	3139,564	3585,096	3646,463	3699,753	3760,314	3902,566	4141,723	4171,891	4479,426	4553,772	4401,030	4916,990	4549,418
47	690,629	1143,685	1289,642	1563,780	1787,677	1969,557	2480,398	2642,240	2659,404	2864,553	2976,106	3074,194	3346,683	3201,184	3411,313	3487,957	3535,772	3657,740	4612,401	3676,952
48	1249,779	1499,804	1735,387	1784,534	2201,611	2686,175	2668,039	2488,127	2827,144	3067,403	2722,412	3134,964	3388,377	3286,179	3179,932	3329,811	3119,059	3168,473	3291,105	3167,025
49	203,006	410,867	373,367	404,515	504,668	352,357	448,318	917,406	734,981	1422,613	512,607	1578,029	1403,759	1247,882	1532,705	1429,941	1115,084	1613,407	2200,874	2351,738
50	274,785	308,588	543,016	300,540	488,968	519,527	1347,189	1408,047	1444,362	1429,841	1704,542	1942,636	1355,577	2220,518	2435,050	2743,879	2692,055	2888,319	2564,539	3733,161
51	562,616	953,297	1034,550	1406,997	1361,530	1849,145	1972,116	2509,428	2364,464	2810,547	2420,624	2666,240	3132,333	3130,889	3143,869	3337,723	2995,768	3963,606	3830,952	4193,245
52	2414,719	4026,611	2779,582	2881,884	3654,533	4705,918	4696,059	3592,110	4045,496	4409,236	5977,940	5727,800	5544,473	6485,441	6931,419	3808,456	7443,576	4932,899	4601,045	7558,706

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

53	1855,121	2151,358	2239,884	2489,838	2424,404	2726,928	2811,342	3146,082	2831,303	3624,557	2756,354	3462,735	3682,952	4171,505	3756,982	3624,615	4882,698	3833,597	3521,241	3953,133
54	357,028	296,844	427,081	640,374	526,313	1409,909	1034,303	1170,977	1212,708	1871,131	1348,046	1840,319	2716,213	2027,020	1672,882	2617,901	2135,345	2434,526	2590,823	2144,268
55	265,255	343,153	542,588	647,848	782,260	847,028	658,291	1268,683	1208,951	1466,632	1778,545	1283,986	1055,716	1527,749	2123,000	1880,876	2198,592	1991,831	1900,740	2005,355
56	1003,607	1293,156	1459,567	1740,496	2199,857	3143,902	2511,568	2680,209	2261,426	2890,210	3685,358	3523,569	3220,381	4436,681	3859,782	4816,960	4551,179	4281,740	4822,411	4982,756
57	1232,985	1877,815	2827,212	3050,853	3169,626	3063,855	3201,935	3680,835	3863,245	3523,126	4082,975	4286,815	4092,765	5036,009	4336,755	4631,209	5136,405	5333,333	5240,242	5321,175
58	1578,030	1758,925	2246,198	3079,371	2472,652	3114,272	3444,835	4421,883	3305,059	3441,211	4551,938	4445,421	3671,523	4757,503	3682,468	5103,826	4316,220	5214,663	4974,976	5303,313
59	839,059	1136,496	1162,104	1776,754	1726,689	1839,810	1818,868	2035,586	2071,417	2094,139	2253,414	2511,581	2213,672	2648,971	2644,000	2513,158	2808,200	2536,424	2300,541	2932,335
60	182,125	202,721	186,358	392,297	129,026	555,322	275,386	551,147	774,572	798,942	677,508	1096,303	991,945	1250,918	1304,196	1383,019	696,059	1687,927	1669,370	1998,523
61	269,108	323,894	241,253	412,808	372,275	561,471	415,708	522,622	549,441	758,176	1166,281	1042,396	839,226	1291,405	1015,460	1934,425	964,969	1330,987	1919,162	2249,056
62	189,876	174,607	384,344	540,287	401,462	802,851	1122,316	1149,388	882,120	1916,403	1779,868	1662,530	1908,735	2287,140	1922,525	2421,524	2572,242	2757,254	2788,726	3181,342
63	492,343	751,870	1214,338	1329,094	1323,341	1575,990	1440,530	1900,331	1741,401	1449,947	2140,582	2294,965	2561,543	2508,619	2656,450	3033,369	2550,641	3350,488	2706,139	2860,273
64	533,024	482,876	881,528	856,938	947,790	877,715	1087,375	1355,094	981,910	1832,633	1226,831	2606,571	1547,035	1813,457	2105,693	2658,704	3692,322	2576,001	2900,536	3448,391
65	332,054	1692,032	913,262	951,592	1598,445	1209,925	1417,550	2045,060	2052,238	2167,641	2420,920	2247,015	2840,553	2370,168	2775,023	2867,352	3771,800	3636,320	3293,056	3880,137
66	250,134	936,305	811,320	1742,497	1066,518	1483,054	2009,844	1259,285	2504,742	2374,046	2176,643	2924,878	2860,575	3527,908	3701,903	3041,844	4024,768	3125,855	4145,376	4033,923
67	800,043	2248,133	1152,424	786,849	1104,809	2020,034	2216,600	1291,729	2226,476	2948,455	2154,147	2332,895	2979,943	3357,564	4020,272	3996,464	4037,135	3450,306	3666,578	3393,940
68	2591,880	2979,211	2525,605	3590,437	4473,681	3356,245	3141,734	4157,201	5602,864	6081,658	6738,349	3690,440	5564,977	4542,993	4070,791	6004,888	4285,244	4672,940	7221,108	7930,184
69	749,413	989,935	1604,481	2202,770	2409,046	2304,104	1845,586	2244,987	2605,570	2595,819	2436,902	2896,766	2993,741	3048,880	3327,173	3446,247	3735,984	3572,112	3323,983	3241,714
70	404,207	433,607	526,423	568,175	636,442	589,712	778,450	736,210	830,150	718,187	893,734	844,275	889,947	903,147	973,992	1027,298	1261,529	958,867	1113,460	1092,214
71	236,114	309,509	369,845	360,656	619,586	528,786	592,944	495,936	701,905	947,901	1177,719	821,614	976,022	953,832	901,712	1240,515	1103,811	1111,940	1457,905	1133,575
72	319,533	356,475	520,570	594,101	437,813	425,324	625,012	683,277	623,701	1111,542	903,833	735,545	1065,674	1065,249	1251,273	1228,241	1511,568	1342,168	1729,060	1030,999
73	179,234	174,060	255,426	226,075	305,052	454,925	373,040	493,087	381,059	537,364	631,163	587,202	483,954	714,991	616,815	602,052	728,846	660,545	1099,475	653,033
74	273,911	273,392	343,546	364,455	378,940	426,176	562,230	681,242	565,721	705,966	610,634	599,309	742,748	751,746	882,178	895,746	907,713	1268,780	1439,356	1181,645
75	303,338	351,645	698,746	583,686	1049,524	1328,977	1027,497	1225,846	976,637	1068,666	1470,493	1708,351	1286,189	1759,882	1680,419	1822,547	1611,790	1682,976	2074,600	1825,501
76	298,566	357,294	489,376	367,772	689,982	510,082	576,835	636,432	635,727	745,181	594,966	838,221	609,694	794,016	968,354	889,950	898,612	889,438	1340,236	875,775
77	266,887	350,027	408,079	377,596	466,674	698,106	712,324	618,899	676,891	679,994	843,149	674,722	724,470	1206,020	1272,938	1023,896	720,537	1085,951	1473,488	1212,550
78	289,463	304,422	593,971	641,035	672,022	1328,742	1032,466	1495,921	1878,669	1876,681	1408,225	1903,483	1984,216	1979,035	2070,817	2221,846	2210,449	2106,018	2281,952	2421,938
79	286,412	332,351	645,835	636,845	637,232	1479,286	650,563	1468,371	1318,240	1337,642	1542,719	1443,593	1604,517	1730,238	2590,680	1903,750	2098,126	1859,447	2306,136	2270,064

Výsledné hodnoty střední kvadratické chyby pro snímky s aplikovaným Salt and Pepper šumem.

80	331,627	361,333	406,943	492,071	768,536	861,339	977,884	1650,111	1216,656	1758,802	1567,261	990,658	1584,552	1714,310	2266,495	1711,949	1933,306	2098,130	1786,204	2589,756
81	204,091	91,228	230,047	121,572	157,355	182,355	277,147	219,555	274,064	274,096	408,241	356,510	275,700	646,779	576,096	642,208	685,304	559,471	712,842	748,239
82	1195,276	1499,061	1646,517	2095,816	1686,652	1759,798	1863,004	3114,392	2028,175	2841,208	3286,287	2578,807	2293,770	3905,687	2618,926	3860,985	4629,337	2862,939	4230,308	3297,346
83	1227,342	1371,224	1622,258	1526,317	1957,743	1552,288	2496,725	1794,777	2828,163	3128,017	1960,202	3694,742	2169,134	2299,952	4819,951	3534,044	2426,521	2708,027	3042,735	3274,080
84	366,208	672,086	741,533	877,405	954,604	1414,482	1445,579	1476,401	2220,071	2183,042	2383,269	2012,324	2572,985	2684,230	2739,216	3215,375	3547,831	3841,650	3532,493	3956,870
85	415,788	370,349	872,452	1064,117	1002,095	1225,474	1538,545	1266,366	1879,367	2014,496	2392,344	2248,198	2775,299	2980,641	3002,090	3429,830	3806,887	3456,353	3643,424	3686,225
86	299,374	427,476	669,457	699,002	1196,881	703,645	1389,485	1670,227	1820,079	1832,315	1713,259	1883,594	2566,078	3032,792	3155,132	2974,870	3031,989	3175,425	3656,472	3719,841
87	715,564	812,772	1193,614	1416,394	1406,497	990,183	1794,741	1793,904	1744,247	1597,873	1903,449	1726,750	2364,602	2330,564	2882,898	3524,737	2934,816	3099,683	4625,410	3008,258
88	565,788	786,767	1078,283	1089,884	1457,404	1446,000	1404,513	1650,069	1546,826	2081,805	2859,638	4666,336	2970,320	3139,084	2501,828	2391,106	3538,610	2611,262	3277,475	2815,680
89	563,236	646,878	1172,594	1406,564	1683,986	1353,659	1874,344	1727,832	2257,530	2100,019	2685,513	1985,760	2954,314	2906,016	2943,977	3253,014	3103,812	3511,841	3963,156	3300,007
90	553,396	901,768	1043,762	986,126	1593,050	1674,388	1909,879	2205,634	2047,542	2001,241	2493,768	2265,142	2436,232	2181,473	3078,338	3589,958	3651,580	2764,775	2978,848	2583,145
91	427,108	926,432	1133,973	1533,023	1359,330	2033,723	1841,773	2054,796	2175,309	2358,680	2267,495	2464,760	2896,370	2926,233	2517,238	3409,039	3830,617	3109,865	3988,583	4198,489
92	824,602	1350,862	1352,181	1628,102	2031,342	2274,592	2096,831	2529,548	2361,072	2955,511	2662,228	2384,702	2730,818	3445,764	3359,758	3005,353	3580,385	3611,991	3812,311	3262,635
93	646,175	852,058	1006,542	1233,603	1506,369	1668,200	1740,519	2212,238	2323,515	2152,849	2201,747	2739,915	2757,961	3046,214	3281,632	3011,533	3156,902	3163,845	2949,709	3886,625
94	584,714	844,725	829,142	1203,993	1365,528	1755,741	1750,656	1893,728	2005,455	2632,753	2236,883	2722,189	2243,839	2682,695	2803,256	3079,782	3723,460	3902,342	3191,401	3168,695
95	606,295	776,761	1120,199	1433,700	1349,060	1436,795	1651,742	1838,893	2161,688	2251,449	2267,757	2398,254	1841,689	2090,501	2523,564	2774,551	3360,575	3001,321	2631,366	3157,969
96	368,540	199,335	409,304	644,838	647,687	816,394	652,524	982,691	1241,943	997,309	1433,872	1203,753	1859,639	1760,980	2205,382	1723,444	2206,964	1964,688	2233,619	2974,757
97	208,891	262,879	230,158	346,085	456,470	437,001	625,922	758,220	455,843	873,359	468,052	813,184	653,964	1130,823	891,092	1199,671	1432,001	1345,404	1602,232	1993,436
98	215,764	244,038	319,238	428,851	466,604	519,812	580,247	463,026	789,449	946,045	726,650	847,116	1436,605	960,684	1529,095	1537,531	1182,283	1945,383	1568,425	1725,429
99	204,525	234,653	374,614	560,855	613,725	1122,609	1023,248	1341,573	569,103	708,814	1438,127	1413,589	1737,949	1244,671	1847,013	1822,012	1901,451	1718,682	2437,549	2116,330
100	145,385	198,035	219,007	291,828	305,252	393,622	272,905	391,924	991,506	858,052	614,139	695,250	1176,297	729,748	1725,476	1132,574	2088,736	2337,268	2016,674	1577,630
medián	567,989	909,383	1166,275	1453,425	1546,458	1757,769	1867,075	2040,323	2200,111	2430,189	2403,574	2571,277	2740,826	2705,870	2859,707	3037,606	3104,209	3117,860	3135,738	3175,018
průměr	664,481	999,547	1192,022	1437,498	1569,729	1755,922	1849,719	2016,127	2109,790	2315,595	2368,105	2463,422	2553,442	2652,599	2736,674	2868,687	2972,454	2912,460	3091,088	3094,913